



Tesis - ME2516

Kombinasi AHP-PROMETHEE untuk Pemilihan Terminal LNG dan Optimasi Distribusi LNG dengan Metode Set Partitioning Problem

PUTRI DYAH SETYORINI

04211650010006

DOSEN PEMBIMBING

A.A.B. Dinariyana Dwi Putranta, S.T, MES., Ph.D

PROGRAM MAGISTER

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



Master Thesis - ME2516

**A Combined AHP-PROMETHEE for LNG
Terminal Selection and Optimization of LNG
Distribution using Set Partitioning Problem**

PUTRI DYAH SETYORINI

04211650010006

SUPERVISOR

A.A.B. Dinariyana Dwi Putranta, S.T, MES., Ph.D

POSTGRADUATE PROGRAMME

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

Judul Tesis : Kombinasi AHP-PROMETHEE untuk Pemilihan Terminal LNG dan Optimasi Distribusi LNG dengan Metode Set Partitioning Problem
Oleh : Putri Dyah Setyorini
NRP : 04211650010006

Telah diujikan pada:

Hari/ Tanggal : Rabu, 17 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Untuk Mendapat Gelar Magister Teknik (M.T.) Pada Program Pasca Sarjana
Departemen Teknik Sistem Perkapalan – Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing

1. A.A.B. Dinariyana Dwi Putranta, S.T, MES., Ph.D

NIP. 19750510 200003 1 001

Dosen Penguji

1. Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng.

NIP. 19580807 198403 1 004

2. Dr. Eddy Setyo K., S.T., M.Sc.

NIP. 19680701 199512 1 001

3. Dr. Dhimas Widhi H., S.T., M.Sc.

NIP. 19870527 201404 1 001

4. Dr. Mat Syai'in S.T., M.T.

NIP. 19771114 200812 1 002

Khark!yan
.....
Widay
.....
Setyo
.....
Dhimas
.....
Mat Syai'in
.....

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Daniel M. Rosyid
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid Ph.D
Nip. 19610702 198803 1 003

Kombinasi AHP-PROMETHEE untuk Pemilihan Terminal LNG dan Optimasi Distribusi LNG dengan Metode Set Partitioning Problem

Nama : Putri Dyah Setyorini

NRP : 4216 201 006

Pembimbing : A.A.B Dinariyana Dwi Putranta, S.T, MES., Ph.D

ABSTRAK

Konsumsi listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2016 mengalami pertumbuhan rata-rata 6.8% per tahun. Pada laporan RUPTL PLN 2017-2026 dilaporkan bahwa terdapat rencana pengembangan 50 PLTG/MG untuk wilayah Indonesia Bagian Tengah yaitu Kalimantan, Sulawesi, dan Nusa Tenggara. Pembangunan tersebut dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan listrik yang semakin meningkat di wilayah tersebut. Secara nasional, penambahan 1 unit infrastruktur listrik berpengaruh sebesar 0,83% terhadap pertumbuhan ekonomi. Dengan adanya pembangunan pembangkit di Indonesia Bagian Tengah maka harus didukung dengan adanya terminal penerima yang akan diletakkan di Makassar. Pada studi ini terdapat dua permasalahan yaitu pemilihan tipe terminal penerima LNG yang mana hub ini akan diletakkan di Makassar, dan melakukan proses optimasi desain distribusi dari terminal penerima LNG hingga ke masing-masing pembangkit yang ada di wilayah Indonesia Bagian Tengah. Proses pemilihan tipe terminal penerima LNG akan dilakukan dengan metode Analytical Hierarchy Process dan Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations (AHP-PROMETHEE), pembobotan dilakukan dengan menggunakan metode AHP yang selanjutnya dilakukan perankingan menggunakan PROMETHEE. Dengan kedua metode tersebut didapatkan bahwa konsep FSRU terpilih untuk diterapkan pada terminal penerima LNG di Makassar. Desain distribusi LNG dari Makassar ke 10 pembangkit di Indonesia Bagian Tengah dilakukan dengan memilih rute-rute yang memberikan total biaya yang minimal. Terdapat tiga komponen biaya yang dipertimbangkan dalam pemilihan rute

tersebut diantaranya adalah biaya transportasi (biaya sewa kapal mini LNG dan biaya bahan bakar), biaya infrastruktur jetty, dan biaya tangki penyimpanan LNG di pembangkit. Terdapat tiga langkah dalam pemilihan rute yang optimal ini yaitu 1) menyusun seluruh rute tunggal (single route), 2) mengkombinasikan rute tunggal yang telah dihasilkan pada langkah sebelumnya menjadi rute jamak (multiple route), sedangkan langkah ketiga adalah memilih kombinasi rute baik rute tunggal maupun rute jamak yang memberikan biaya yang optimal (minimal) dengan menggunakan metode Set Partitioning Problem (SPP). Pada kasus dimana LNG didistribusikan dari terminal di Makassar ke 10 pembangkit yang lokasinya tersebar di Indonesia Bagian Tengah, SPP memberikan solusi optimal diperoleh dengan mengoperasikan dua buah kapal mini LNG dengan kapasitas masing-masing 10.000 m^3 dan 1100 m^3 .

Kata Kunci : AHP-PROMETHEE, Terminal Penerima LNG, Multiple Routes, Set Partitioning Problem

**A Combined AHP-PROMETHEE for LNG Terminal Selection
and Optimization of LNG Distribution
using Set Partitioning Problem**

Name : Putri Dyah Setyorini
NRP : 4216 201 006
Supervisor : A.A.B Dinariyana Dwi Putranta, S.T, MES., Ph.D

ABSTRACT

Consumption of electricity in Indonesia from the year 2000 to 2016 are increasing with an average of 6.8% per year. From the RUPTL-PLN report, it is reported that there are some plans to develop 50 PLTG/ MG for some regions in the Central part of Indonesia namely Kalimantan, Sulawesi and Nusa Tenggara region. The development is intended to fulfill the increasing demand for electricity in that region. Nationally, the addition of 1 unit of electricity infrastructure has an effect of 0.83% on economic growth. With the development of power plants in Central part of Indonesia, it must be supported by the receiver terminal that will be placed in Makassar. There are two scopes in this study, the first one is for selecting the types of LNG receiving terminal which will be placed in Makassar, and the second one is optimizing the design of LNG distribution from the LNG receiving terminals to each plant in the Central part of Indonesia. Selecting process of the types of LNG receiving terminal will be done using a combined method called Analytical Hierarchy Process and Preference Ranking Method Method for Enrichment Evaluations (AHP-PROMETHEE). The weighting process will be done by using AHP, and the ranking process will be done by using PROMETHEE. With that combined method, it can be concluded that FSRU was chosen to be applied as LNG receiving terminal in Makassar. The design of LNG distribution from Makassar to 10 power plants in Central Part of Indonesia is done by selecting routes that give a minimal total cost. There are three cost components to be considered in the selection of routes, such as transportation costs (charter cost of mini LNG vessel including their fuel costs), jetty infrastructure costs, and LNG storage tank costs at

the power plant. There are three stages in the selection of these optimal routes: 1) all single routes construction, 2) combining the single routes generated in the previous step into multiple routes, while the third stage is to choose combination of routes either single routes or multiple routes that give optimal cost (minimal) by using Set Partitioning Problem (SPP) method. In cases where LNG is distributed from Makassar's terminal to 10 power stations located in Central Part of Indonesia, the SPP provides the optimal solution by operating two LNG mini boats with capacities of 10,000 m³ and 1100 m³ respectively.

Keywords : AHP-PROMETHEE, LNG Receiving Terminal, Multiple Routes, Set Partitioning Problem.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'alamin, segala Puji dan Syukur bagi Allah SWT atas segala rahmat-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini yang berjudul

**“Desain Distribusi LNG untuk Pembangkit di Wilayah Indonesia
Bagian Tengah dengan Pemodelan Matematis”**

Penulis sangat menyadari bahwa penulisan tesis ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa adanya dukungan dari berbagai pihak. Sehingga, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sangat tulus kepada:

1. Bapak A.A. Bagus Dinariyana Dwi Putranta, S.T., MES, Ph.D. selaku Kepala Laboratorium RAMS sekaligus sebagai dosen pembimbing penulis yang selalu sabar dan baik dalam membimbing penulis selama pengerjaan tesis. Terima kasih atas dukungan dan waktunya sejak penulis menyelesaikan skripsi pada saat sarjana.
2. Kedua orang tua tercinta penulis yang senantiasa memberikan doa dan dukungan baik secara moril maupun materil. Serta adek dan kakak penulis yang senantiasa menghibur penulis. Terima kasih kepada seluruh keluarga yang selalu memberikan doa dan semangat.
3. Bapak-bapak dosen Lab Safety R&D yang selalu memberikan dukungan dan selalu memberikan pengalaman pekerjaan terhadap penulis.
4. Bapak Dr. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc. selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan semangat untuk penulis. Terima kasih atas kesempatannya untuk dapat menyelesaikan program master di Departemen Teknik Sistem Perkapalan dengan beasiswa *fresh graduate*.
5. Bapak-bapak dosen penguji P1, P2, dan P3 yang selalu memberikan masukan untuk proses pengerjaan tesis penulis sehingga penulis dapat mengerjakan tesis menjadi lebih baik.
6. Teman-teman sejak penulis berada pada jenjang sarjana, ucik, emik, dan dilcan yang selalu mendukung serta merepotkan penulis. Terima kasih atas segala hiburan dan kasih sayang yang tidak tulusnya.
7. Member Lab. RAMS yang juga selalu memberikan dukungan kepada penulis untuk menyelesaikan tesis.

8. Untuk Mas Dwi, Habib, Pak Dwi, Mas Subhan, Mas Didih, terima kasih karena selalu memberikan informasi kepada penulis baik masalah pemrograman, atau apapun yang penulis tidak mengerti.
9. Untuk seluruh pihak yang selalu memberikan dukungan terhadap penulis yang tidak bisa disebutkan satu-persatu, penulis sangat berterima kasih untuk setiap doa dan semangat yang diberikan sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

Meskipun penulis telah sangat berusaha untuk menyelesaikan tesis ini dengan baik, penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih jauh dari kata sempurna. Maka, penulis dengan tulus akan menerima kritik dan saran dari pembaca. Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun bagi penulis sendiri sebagai bahan studi selanjutnya.

Surabaya, 21 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---|------------------------------|
| LEMBAR PENGESAHAN..... | Error! Bookmark not defined. |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 4 |
| 2.1. Tujuan..... | 4 |
| 2.2. Manfaat..... | 4 |
| 2.3. Batasan Masalah..... | 5 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1 Gas Bumi di Indonesia | 6 |
| 2.2 <i>Liquified Natural Gas (LNG)</i> | 8 |
| 2.3 Rantai Pasok LNG (<i>LNG Supply Chain</i>)..... | 8 |
| 2.3.1 Kilang LNG..... | 11 |
| 2.3.2 Kapal pengangkut LNG (<i>LNG Carrier</i>) | 11 |
| 2.3.3 Terminal Penerima LNG (<i>Receiving Terminal LNG</i>) | 12 |
| 2.4 Pembangkit di Wilayah Indonesia Bagian Tengah | 13 |
| 2.4.1 Kalimantan | 14 |
| 2.4.2 Sulawesi | 16 |
| 2.4.3 Nusa Tenggara | 18 |
| 2.5 Pemilihan Terminal dengan Metode AHP-PROMETHEE | 19 |
| 2.5.1 Metode AHP-PROMETHEE..... | 21 |
| 2.6 Ship Routing dengan Pendekatan <i>Vehicle Routing Problem</i> | 23 |
| 2.6.1 Pemrograman Matematis/ <i>Mathematical Programming</i> | 24 |
| 2.6.2 Simulasi/ <i>Simulation</i> | 26 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 2.7 | Formulasi <i>Vehicle Routing Problem</i> (VRP) | 27 |
| 2.7.1 | Pemodelan <i>Set Partitioning</i> dan <i>Set Packing</i> | 29 |
| BAB 3 | METODOLOGI PENELITIAN | 32 |
| 3.1 | Pemilihan Tipe Terminal LNG di Makassar | 33 |
| 3.2 | Optimasi Rute Distribusi LNG | 34 |
| 3.2.1 | Membuat Semua Rute Tunggal yang Layak (<i>Feasible</i>) | 35 |
| 3.2.2 | Membuat Rute Jamak (<i>Multiple Route</i>) | 39 |
| 3.2.3 | Penentuan Rute yang Optimal dengan <i>Set Partitioning Problem</i> | 41 |
| BAB 4 | PEMILIHAN TIPE TERMINAL PENERIMA LNG | 43 |
| 4.1 | Pemilihan Tipe Terminal Penerima LNG | 43 |
| 4.2 | Proses Pembobotan dengan Metode AHP | 44 |
| 4.3 | Proses Perankingan dengan Metode PROMETHEE | 46 |
| BAB 5 | OPTIMASI DISTRIBUSI LNG | 52 |
| 5.1 | Studi Awal dan Pengumpulan Data | 52 |
| 5.2.1 | Data Lokasi dan Kebutuhan Gas | 52 |
| 5.2.2 | Data Kapal Mini LNG | 54 |
| 5.2.3 | Data Matriks Jarak | 56 |
| 5.2.4 | Komponen Biaya yang Dipertimbangkan dalam Optimasi | 57 |
| 5.2 | Hasil Optimasi Distribusi LNG | 67 |
| 5.2.1 | Tahap 1: Penentuan Rute Tunggal (<i>Single Route</i>) | 67 |
| 5.2.2 | Tahap 2: Penentuan Rute Jamak (<i>Multiple Route</i>) | 70 |
| 5.2.3 | Tahap 3: Penentuan Rute Optimal | 70 |
| BAB 6 | KESIMPULAN DAN SARAN | 83 |
| 6.1 | Kesimpulan | 83 |
| 6.2 | Saran | 84 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 86 |
| | LAMPIRAN I PEMILIHAN TIPE TERMINAL PENERIMA LNG | 90 |
| | LAMPIRAN II OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI LNG | 98 |
| | BIOGRAFI PENULIS | 110 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Kapasitas Pembangkit di Indonesia Bagian Tengah | 3 |
| Gambar 2. 1 Contoh Model Rantai Pasok LNG..... | 9 |
| Gambar 2.2 Contoh Terminal Penerima LNG | 13 |
| Gambar 2.3 Kebutuhan Gas pada Wilayah Indonesia Bagian Tengah..... | 14 |
| Gambar 2.4 Struktur Hirarki pada Pemilihan Tipe Terminal LNG..... | 21 |
| Gambar 2.5 Langkah-Langkah dalam Melakukan Simulasi..... | 26 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian | 32 |
| Gambar 3. 2 Hirarki Tipe Terminal Penerima LNG | 33 |
| Gambar 3. 3 Ilustrasi dari rute tunggal (single route)..... | 36 |
| Gambar 3. 4 Tampilan dari Software TSPGP | 36 |
| Gambar 3. 5 Tampilan dari Software TSPGP – Branch-and-Bound..... | 37 |
| Gambar 3. 6 Tampilan dari Software TSPGP – Solusi Terbaik..... | 37 |
| Gambar 3. 7 Algoritma pembuatan rute tunggal (single route) | 38 |
| Gambar 3. 8 Ilustrasi dari rute jamak (multiple route) | 40 |
| Gambar 3. 4 Algoritma pembuatan rute jamak (multiple route)..... | 40 |
| Gambar 4. 1 Kerangka Berpikir AHP-PROMETHEE | 43 |
| Gambar 4. 2 Struktur Hirarki dalam Pemilihan Tipe Terminal Penerima LNG ... | 45 |
| Gambar 4. 3 Hasil pembobotan dengan Metode AHP pada <i>Expert Choice</i> | 46 |
| Gambar 5. 1 Lokasi kebutuhan gas | 53 |
| Gambar 5. 2 Kapal pengangkut LNG berukuran kecil | 54 |
| Gambar 5. 3 Simplified distance matrix of LNG Distribution..... | 57 |
| Gambar 5. 4 Ilustrasi infrastruktur <i>LNG receiving terminal</i> | 59 |

| | |
|--|----|
| Gambar 5. 5 Contoh Voyage Report Kapal LNG | 62 |
| Gambar 5. 6 Profil Konsumsi Bahan Bakar pada Kondisi Full Load | 63 |
| Gambar 5. 7 Profil Konsumsi Bahan Bakar pada Kondisi Ballast..... | 63 |
| Gambar 5. 8 Screenshot Antarmuka pada Software LINGO 6.0 | 73 |
| Gambar 5. 9 ilustrasi Optimal Single Route | 76 |
| Gambar 5. 10 Ilustrasi Optimal Single Route dan Multiple Route | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Kalimantan | 16 |
| Tabel 2. 2 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Sulawesi | 18 |
| Tabel 2. 3 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Nusa Tenggara | 19 |
| Tabel 2. 4 Skala Preferensi AHP | 22 |
| Tabel 2. 5 Klasifikasi dari Pemrograman Matematis | 25 |
| Tabel 4. 1 Hasil Pembobotan Kriteria | 46 |
| Tabel 4. 2 Parameter dan Tipe Preferensi | 47 |
| Tabel 4. 3 Penilaian pada Setiap Kriteria terhadap Alternatif | 48 |
| Tabel 4. 4 Ringkasan Nilai Preferensi | 48 |
| Tabel 4. 5 Ringkasan Indeks Preferensi | 49 |
| Tabel 4. 6 Ringkasan nilai <i>entering flow</i> dan <i>leaving flow</i> | 50 |
| Tabel 4. 7 Ringkasan nilai <i>net flow</i> | 51 |
| Tabel 5. 1 Lokasi Terminal Penerima dan Kebutuhan LNG | 52 |
| Tabel 5. 2 Data Kapal Mini LNG | 55 |
| Tabel 5. 3 Komponen Biaya Distribusi LNG | 58 |
| Tabel 5. 4 Komponen dalam infrastruktur LNG | 60 |
| Tabel 5. 5 Estimasi Biaya Pembangunan <i>Jetty</i> | 65 |
| Tabel 5. 6 Estimasi Biaya Pembangunan <i>Jetty</i> (lanjutan) | 66 |
| Tabel 5. 7 Sebagian Rute Tunggal (Single Route) pada Kecepatan Kapal 10 knot | 68 |
| Tabel 5. 8 Sebagian Rute Tunggal (Single Route) pada Kecepatan Kapal 14 knot | 69 |
| Tabel 5. 9 Sebagian Rute Jamak (Multiple Route) pada Kecepatan Kapal 10 knot | 71 |
| Tabel 5. 10 Sebagian Rute Jamak (Multiple Route) pada Kecepatan Kapal 14 knot | 72 |
| Tabel 5. 11 Hasil Optimasi SPP pada Single Route dan Kec. Kapal 10 knot (1) | 74 |

| | |
|---|----|
| Tabel 5. 12 Hasil Optimasi SPP pada Single Route dan Kecepatan Kapal 10 knot (2) | 75 |
| Tabel 5. 13 Rangkuman Pemilihan Single Rute pada Seluruh Variasi Kecepatan | 76 |
| Tabel 5. 14 Hasil Optimasi Single Route dan Multiple Route pada Kec. Kapal 12knot .. | 79 |
| Tabel 5. 15 Hasil Optimasi Single Route dan Multiple Route pada Kec. Kapal 12knot .. | 80 |
| Tabel 5. 16 Rangkuman Rute yang Optimal pada Seluruh Tipe Rute dan Variasi Kec.... | 81 |

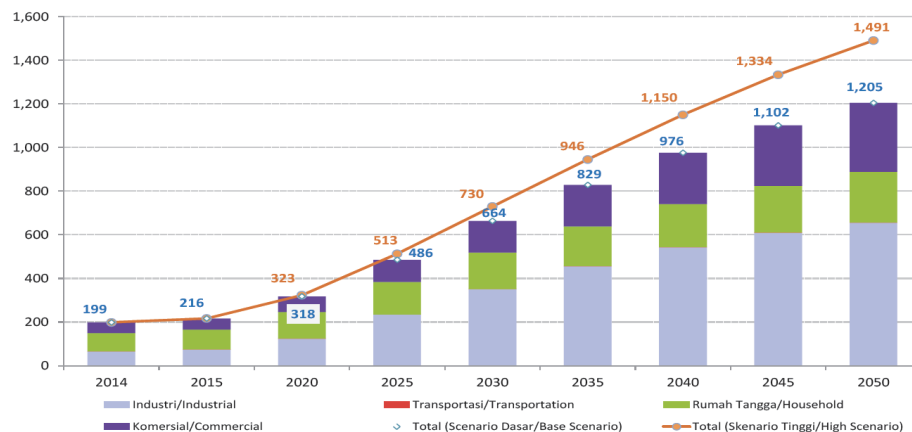
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut Badan Pusat Statistik melalui Laporan Bulanan Data Sosial Ekonomi, pertumbuhan ekonomi Indonesia pada triwulan II-2017 tumbuh 5,01% dibanding triwulan II-2016, namun melambat dibanding capaian triwulan II-2016 yang sebesar 5,18% persen (BPS, 2017). Pertumbuhan ekonomi ini dari sisi produksi didukung oleh hampir semua lapangan usaha kecuali beberapa hal yang salah satunya yaitu lapangan usaha pengadaan listrik dan gas.

Konsumsi listrik dalam kurun waktu tahun 2000-2014 mengalami pertumbuhan rata-rata 6.8% per tahun (BPPT, 2016). Konsumsi listrik yang naik disebabkan oleh meningkatnya pendapatan masyarakat dan rasio elektrifikasi. Pertumbuhan konsumsi listrik dari berbagai sektor di prediksi akan terus meningkat yang dapat dilihat pada Gambar 1. 1



Gambar 1. 1 Kebutuhan Listrik per Sektor (BPPT, 2016)

Dengan prediksi kebutuhan listrik yang semakin meningkat, maka kapasitas pembangkit juga harus ditingkatkan. Secara nasional, penambahan 1 unit infrastruktur listrik berpengaruh sebesar 0,83% terhadap pertumbuhan ekonomi (LPEM-UI, 2005). Juga, di bawah kepemimpinan Presiden Joko Widodo, beliau

menyampaikan bahwa “Listrik yang cukup adalah kunci bagi tercapainya pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat”.

Pengembangan kapasitas pembangkit tenaga listrik diarahkan untuk memenuhi pertumbuhan beban, dan pada beberapa wilayah tertentu diutamakan untuk memenuhi kurangnya pasokan listrik. Pengembangan kapasitas pembangkit juga ditujukan untuk mengutamakan pemanfaatan sumber energi setempat yang terutama energi terbarukan. Sesuai dengan kebijakan pemerintah, beberapa program pengembangan kapasitas pembangkit seperti pengembangan energi baru dan terbarukan, serta program percepatan ketenagalistrikan 35000 MW. Pengembangan pembangkit juga harus optimal dengan prinsip biaya penyediaan listrik terendah, dengan tetap memenuhi kecukupan daya dan industri tenaga listrik yang andal.

Dalam mengembangkan kapasitas pembangkit listrik, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan yang salah satunya yaitu strategi penurunan emisi gas rumah kaca. Perusahaan penyedia listrik harus mendukung upaya komitmen pemerintah dalam menurunkan emisi sebesar 29% dengan cara seperti memprioritaskan pengembangan energi baru dan terbarukan (Kementerian ESDM, 2017). Untuk dapat mewujudkan pengembangan kapasitas pembangkit listrik yang efisien dan komitmen terhadap penurunan emisi, maka dibutuhkan rencana yang strategis.

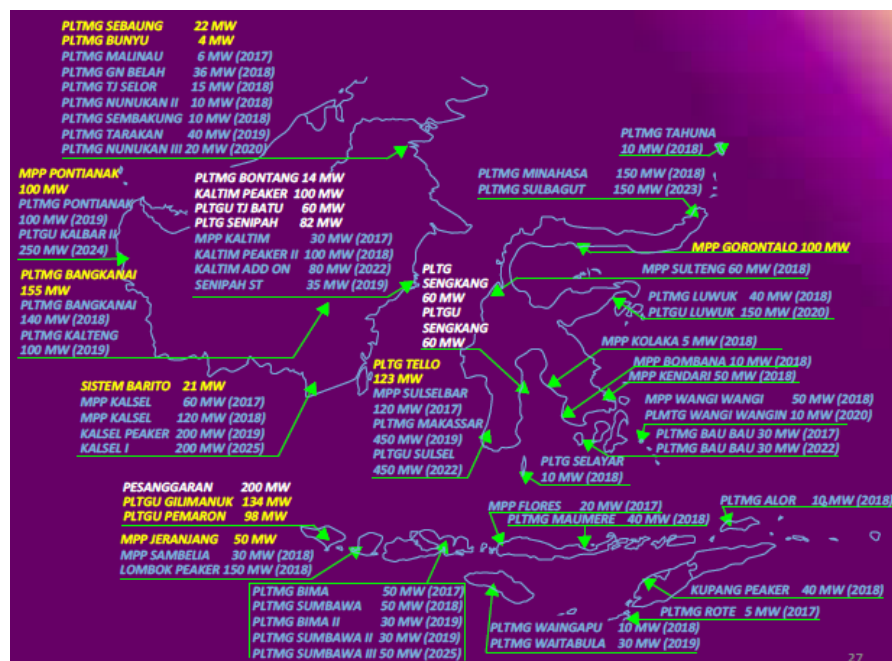
Rencana strategis dalam pengembangan kapasitas pembangkit listrik yang akan dibahas pada studi ini yaitu energi yang akan digunakan dan proses distribusi energi terhadap pembangkit yang efisien. Salah satu energi yang dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yaitu gas bumi yang dalam hal ini yaitu penggunaan *Liqueified Natural Gas* (LNG).

Liqueified Natural Gas (LNG) membutuhkan infrastruktur yang mengubah gas bumi menjadi bentuk cair, proses transportasi, juga infrastruktur sebagai fasilitas penyimpanan, dan regasifikasi untuk mengubah kembali ke bentuk gas sebelum dimanfaatkan oleh pembangkit listrik. Sumber pasokan LNG yang dapat digunakan oleh penyedia listrik saat ini hanya berasal dari domestik yaitu Bontang

dan Tangguh, namun beberapa tahun ke depan sumber pasokan LNG di Indonesia akan bertambah dengan beroperasinya LNG Wasambo, LNG Donggi-Senoro, dan LNG Masela (Kementerian ESDM, 2017).

Pola distribusi juga memiliki masalah yang rumit mengingat masalah pemilihan alternatif moda transportasi yang paling tepat (pipa/kapal/truk/lainnya) serta investasi yang dibutuhkan yang sesuai dengan moda transportasi LNG yang akan dipilih. Disamping kebutuhan infrastruktur dengan tingkat investasinya yang sedemikian besar, lokasi *end user* yang tersebar juga menjadi tantangan khusus dalam perencanaan serta jaminan tingkat keselamatan dan proteksi terhadap lingkungan. Jika distribusi domestik akan menggunakan kapal, maka desain kapal yang sesuai, fasilitas pelabuhan penerima khusus kapal LNG serta *storage* dan *regasification facilities* juga menjadi satu bahan untuk dikaji lebih jauh.

Indonesia bagian tengah merupakan wilayah yang akan di kaji pada studi ini. Pada studi ini dilakukan perancangan konsep distribusi LNG ke pembangkit serta analisa biaya rantai pasok distribusi LNG.



Gambar 1. 2 Kapasitas Pembangkit di Indonesia Bagian Tengah
 (Kementerian ESDM, 2017)

Perancangan distribusi LNG tersebut akan mempertimbangkan kebutuhan (*demand*) gas dari setiap pembangkit yang masing-masing kapasitas pembangkitnya dapat dilihat pada Gambar 1.2. Pada studi ini lokasi hub terminal penerima LNG yang akan menuju ke seluruh pembangkit Indonesia bagian tengah diletakkan di Makassar. Dengan demikian optimasi distribusi LNG dengan kapal pengangkut LNG dilakukan dengan meminimalkan fungsi komponen biaya.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana memilih tipe terminal penerima LNG yang akan dilokasikan di Makassar ?
2. Bagaimana menentukan pola distribusi LNG yang optimal untuk wilayah Indonesia Bagian Tengah dengan menggunakan pemodelan matematis ?

2.1. Tujuan

Terdapat beberapa tujuan terkait dengan permasalahan yang dibahas pada studi ini, yaitu:

1. Melakukan pemilihan tipe terminal penerima LNG yang akan dilokasikan di Makassar melalui salah satu pendekatan *Multi Criteria Decision Making* yaitu *Analytical Hierarchy Process* dan *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (AHP-PROMETHEE).
2. Menentukan desain distribusi LNG yang optimal dari Makassar ke 10 pembangkit yang tersebar di wilayah Indonesia Bagian Tengah. Desain distribusi meliputi kapasitas kapal mini LNG yang digunakan, power plant yang dilayani untuk masing-masing rute kapal mini LNG, dan kecepatan rata-rata kapal dalam melakukan rutenya.

2.2. Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari adanya penulisan studi ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat menentukan tipe terminal penerima LNG yang sesuai untuk digunakan di Makassar dari beberapa alternatif tipe terminal penerima LNG yang umum digunakan.
2. Metode yang diusulkan dalam penentuan desain distribusi LNG dapat digunakan sebagai pertimbangan dan masukan dalam mendesain distribusi LNG skala kecil dimana kebutuhan LNG tersebar di beberapa lokasi dengan kebutuhan LNG yang tidak terlalu besar.

2.3. Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang digunakan pada studi ini yaitu:

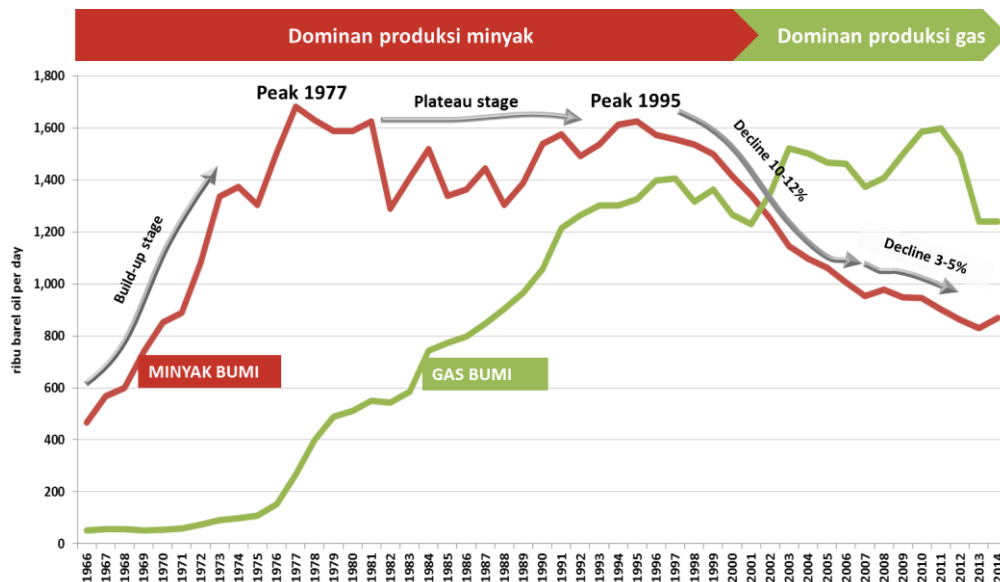
1. Diasumsikan bahwa Makassar menjadi lokasi hub terminal penerima LNG yang selanjutnya LNG yang diterima didistribusikan dengan menggunakan kapal mini LNG ke 10 pembangkit listrik yang tersebar di wilayah Indonesia Bagian Tengah
2. Kapasitas pembangkit dan kebutuhan gas untuk 10 pembangkit listrik (PLTG/PLTMG) yang dianalisa diperoleh dan mengacu pada kapasitas dan kebutuhan gas yang tertuang pada RUPTL PLN Tahun 2017-2026.
3. Pada studi ini, distribusi LNG diasumsikan hanya mempertimbangkan kapal LNG berukuran kecil (*small LNG vessel*) berukuran antara 1100 m³ sampai dengan 15.600 m³.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gas Bumi di Indonesia

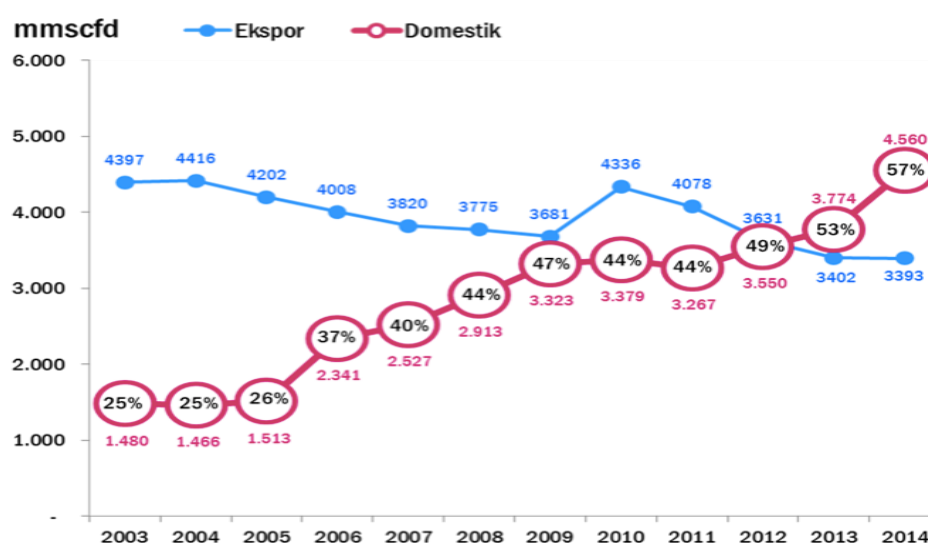
Industri minyak bumi di Indonesia memang tergolong sudah cukup tua, lebih dari 100 tahun minyak bumi digunakan sebagai sumber utama, sedangkan produksinya semakin menurun. Dapat dilihat pada Gambar 2. 1 bahwa sejak tahun 2004 penurunan produksi minyak dapat ditahan dengan decline rate sekitar 3% per tahun. Di sisi lain, produksi gas bumi di Indonesia relatif semakin meningkat sejak tahun 1970 (Dirjen Migas, 2015).



Gambar 2. 1 Sejarah Perbandingan Produksi Minyak dan Gas Indonesia (Dirjen Migas, 2015)

Saat ini, Pemerintah sangat sadar bahwa Indonesia saat ini sangat membutuhkan pasokan gas bumi, sehingga kemudian menetapkan Kebijakan Gas Bumi Nasional diutamakan untuk domestik, dengan tetap memperhatikan keekonomian lapangan. Untuk mendukung kebijakan tersebut, diterbitkan Permen ESDM No. 3/2010 tentang Alokasi dan Pemanfaatan Gas Bumi untuk Kebutuhan Dalam Negeri.

Bukti nyata dari Pemerintah dalam memenuhi kebutuhan gas dalam negeri adalah dengan penyaluran gas bumi yang semakin meningkat setiap tahunnya dari tahun 2003 sebesar 25% meningkat menjadi 57% pada tahun 2014. Sebaliknya, penyaluran gas bumi untuk ekspor relatif dengan porsi menurun. Bukti konkrit tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. 2. Sangat menarik jika melihat pada grafik tersebut bahwa untuk pertama kalinya dalam sejarah di Indonesia sejak tahun 2013 penyaluran gas untuk domestik lebih besar daripada ekspor. Ini membuktikan bahwa pemerintah semakin siap memberikan kebijakan gas bumi untuk domestik.



Gambar 2. 2 Pemenuhan Gas Bumi untuk Domestik dan Ekspor

Tentunya kebijakan ini harus di dukung dengan infrastruktur gas bumi yang memadai. Negara Indonesia yang merupakan Negara Kepulauan merupakan salah satu keterbatasan untuk melakukan distribusi gas bumi yang merata terhadap daerah pertumbuhan. Namun, sejak tahun 2010, infrastruktur gas seperti FSRU (*Floating Storage and Regasification Unit*) mulai digencarkan agar sumber gas tidak hanya digunakan untuk ekspor dan dapat digunakan untuk pemanfaatan domestik yang salah satunya sebagai energi pembangkit listrik. Sebuah pencapaian yang baik dan harus ditingkatkan dengan menganalisis infrastruktur yang diperlukan serta pola distribusi yang efisien dari sumber gas hingga ke *end user*.

2.2 *Liquified Natural Gas (LNG)*

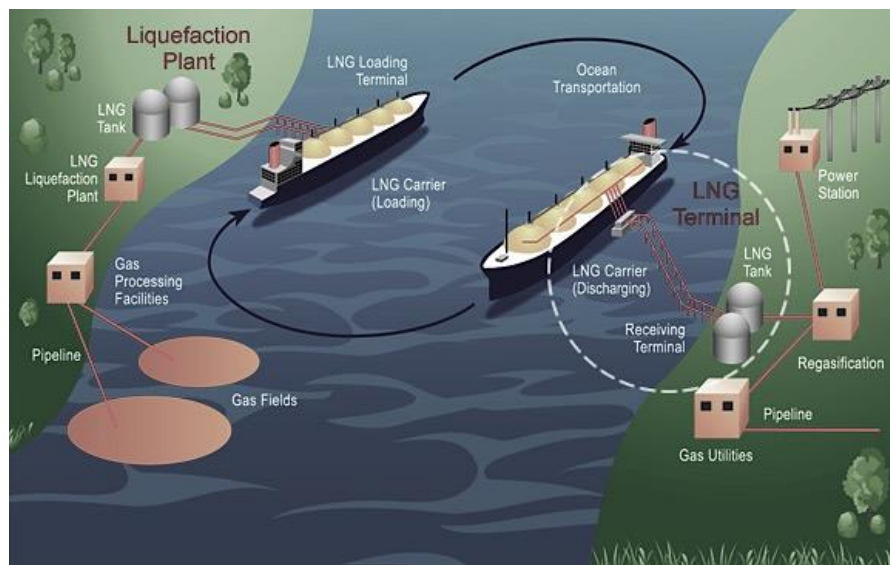
LNG (*Liquified Natural Gas*) merupakan gas alam (Metana-CH₄) yang suhunya diturunkan hingga mencapai suhu -160° pada tekanan atmosfer sehingga membuatnya menjadi zat cair (Soegiono and Artana, 2006). Sebelum diproses menjadi LNG, gas bumi terlebih dahulu dibersihkan untuk menghilangkan zat pengotor seperti karbondioksida, air, belerang, serta merkuri. Komposisi LNG terdiri dari 70-90% metana, 0-20% propane maupun butane, serta senyawa senyawa lain dalam komposisi sangat rendah seperti karbondioksida, nitrogen dan *hydrogen sulphide* sehingga LNG termasuk bahan bakar yang ramah lingkungan (Oka *et al.*, 2016). Dengan mengubah gas bumi menjadi LNG membuat gas bumi lebih mudah dan murah untuk ditransportasikan dalam volume besar. Hal ini disebabkan karena ketika gas bumi diubah menjadi LNG efisiensi volumetrik mencapai 600 kali atau dengan demikian 1 m³ LNG setara dengan 600 m³ gas bumi (Antara, 2017).

2.3 *Rantai Pasok LNG (LNG Supply Chain)*

Rantai pasok didefinisikan sebagai jaringan dalam suatu organisasi atau antara beberapa organisasi yang melibatkan pengadaan bahan baku, konversi dari bahan baku sampai produk akhir, dan distribusi produk akhir ke pasar (Muriel and Simchi-Levi, 2003). Selama beberapa tahun ini, analisis rantai pasok menjadi perhatian khusus baik dalam teori manufaktur maupun pada praktik industri. Dalam arti yang luas, rantai pasok menghubungkan semua perusahaan yang berkontribusi terhadap berlangsungnya produksi dan penjualan suatu produk. (Hennet, 2009).

Dengan pengertian rantai pasok, untuk rantai pasok LNG dapat diartikan sebagai jaringan gas bumi dari ladang gas ke *liquefaction plant* untuk mengubah fase gas menjadi cair yang kemudian disimpan di kilang LNG *storage tank* dan selanjutnya LNG didistribusikan ke konsumen pengguna gas atau disebut dengan *end user*. Gas alam diangkut dari lading gas ke konsumen dengan dua cara yang utama, baik dengan pipa gas maupun dengan kapal. Namun, beberapa waktu ini kapal LNG lebih diminati sebagai media pengangkut gas alam karena tingginya biaya transportasi pipa gas dengan jarak yang jauh serta keterbatasan geografis distribusi pipa gas (Jokinen, Pettersson and Saxén, 2015).

Rantai pasok LNG berawal dari ladang gas dimana gas diproduksi kemudian dialirkan ke *liquefaction plant* untuk menghilangkan zat pengotor atau kontaminan seperti karbon dioksida, air dan belerang. Setelah kontaminan atau kotoran dihilangkan, gas bumi didinginkan hingga -160°C sehingga gas bumi berubah fase menjadi cair dan kemudian dialirkan menuju tangki penyimpanan (*storage tank*). Dari tangki penyimpanan, LNG dialirkan dan dimuat pada kapal pengangkut LNG (LNG carrier) menuju terminal penerima (*receiving terminal*). Sebelum sampai ke pengguna atau *end user*, LNG terlebih dahulu diubah fase menjadi gas kembali pada proses regasification unit yang berada di terminal penerima. Ilustrasi rantai pasok LNG dapat dilihat pada Gambar 2. 3



Gambar 2. 3 Contoh Model Rantai Pasok LNG (PTTLNG, 2009)

LNG merupakan salah satu solusi pada kasus transportasi gas bumi dengan volume besar dan jarak yang jauh serta tidak terdapat fasilitas pipa gas. Selain jarak, kondisi geografis daerah distribusi juga menjadi faktor pertimbangan penting. Sebagai contoh dengan kondisi geografis laut di wilayah Indonesia bagian tengah yang memiliki banyak palung pembangunan pipa gas bawah laut akan memerlukan biaya yang besar dan waktu yang lama untuk konstruksinya. Kondisi daratan di wilayah Indonesia bagian tengah yang terdiri dari dataran tinggi dan pegunungan juga memerlukan investasi besar dan memerlukan waktu yang lama untuk instalasi

pipa gas. Sehingga distribusi gas alam dalam bentuk LNG dengan menggunakan kapal merupakan solusi yang akan memiliki risiko biaya dan waktu yang lebih rendah jika dibandingkan metode distribusi lainnya.

Penggunaan gas sebagai bahan bakar untuk pembangkit di Indonesia sudah banyak dilakukan. Salah satunya pada tahun 2016 PT PLN bekerja sama dengan anak perusahaan BUMN untuk mendistribusikan gas bumi dari kilang LNG di Bontang menuju pembangkit di Pesanggaran Bali. Distribusi dilakukan dengan menggunakan kapal pengangkut LNG berukuran kecil (*Small LNGc*) bermuatan 23,000 m³ LNG. Di pelabuhan benoa dibangun sebuah terminal penerima terapung dengan fasilitas regasifikasi LNG berserta pipa gas darat yang akan mendistribusikan menuju ke pembangkit. Berdasarkan penjelasan anggota Direktorat Jendral Minyak dan Gas dalam konferensi *Green-Eco Energy* di Bali, distribusi di Bali dijadikan sebuah contoh dalam distribusi LNG yang menyesuaikan dengan kondisi di Indonesia yang tersebar di beberapa pulau dan dipisahkan oleh perairan.

Dalam penelitian ini konsep transportasi LNG dengan menggunakan kapal LNG berukuran kecil akan dilakukan, dimana dengan permintaan gas dari pembangkit yang kecil antara 1 MMSCFD – 100 MMSCFD dengan lokasi yang tersebar di beberapa titik. Selain itu penggunaan LNG berukuran kecil akan memberikan kemudahan, karena dengan dimensi kapal yang lebih kecil mempengaruhi persyaratan kedalaman perairan pada rute pelayaran.

Kegiatan transportasi atau distribusi LNG dari sumber ke konsumen merupakan kegiatan penting dalam rantai pasok LNG (Raj *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan karena metode yang dipilih untuk transportasi atau distribusi LNG akan mempengaruhi harga dan performa suplai LNG. Tentunya dalam penggunaan kapal LNG berukuran kecil akan memiliki biaya transportasi per volume LNG yang lebih mahal dibandingkan dengan menggunakan kapal yang lebih besar dengan jarak yang sama. Namun, dengan pemilihan kapal LNG berukuran kecil memiliki keuntungan dari sisi fleksibilitas persyaratan kedalaman, biaya sewa yang lebih

murah serta kesesuaian dengan permintaan suplai LNG yang kecil di wilayah Indonesia bagian tengah.

2.3.1 Kilang LNG

Kilang LNG atau ladang gas bumi merupakan sumur gas yang telah dieksplorasi dan kemudian diolah lalu didistribusikan. Perlu kajian terkait lokasi pembeli, jumlah permintaan dan kajian lebih lanjut untuk menentukan apakah gas bumi akan diolah menjadi LNG atau dialirkan melalui pipa gas. Saat ini di Indonesia ada empat kawasan produksi gas bumi yang mempunyai fasilitas untuk mencairkan gas bumi yang kemudian disimpan ke tangki penyimpanan atau biasa disebut kilang LNG. Yang pertama yaitu Kilang Badak (Bontang, Kalimantan Timur), Kilang Arun (Naggroe Aceh Daarussalam), Kilang Tangguh (Papua), dan Kilang Donggi Senoro (Sulawesi Tengah). Namun satu di antaranya yaitu Kilang Arun sudah berlalih fungsi menjadi terminal regasifikasi dan pusat pelatihan karena penurunan produksi gas. Sedangkan Kilang Wasambo di Sulawesi sedang dalam tahap perencanaan (Kementerian ESDM, 2017).

2.3.2 Kapal pengangkut LNG (*LNG Carrier*)

Salah satu alat transportasi untuk mendistribusikan LNG dari kilang LNG ke terminal penerima adalah kapal pengangkut LNG atau *LNG carrier*. Kapal LNG pertama adalah kapal “Methane Pioneer” yang merupakan kapal konversi dari kapal tanker yang berukuran kecil. Kapal ini mengangkut LNG dari Teluk Meksiko ke Sungai Thames, Inggris pada tahun 1959. Pengguna kapal LNG umumnya digunakan untuk mendistribusikan LNG pada rute dengan jarak menengah antar pulau sampai dengan antar benua.

Terdapat berbagai kapasitas angkut kapal LNG, secara umum dibagi menjadi 4 kelompok kapasitas, yaitu kelompok kapal kapasitas sangat besar (di atas 200.000 m³), kapal kapasitas besar (125.000 m³, 138.000 m³, 145.000 m³), kapal kapasitas standard (75.000 m³), kapal kapasitas kecil (di bawah 40.000m³) (Soegiono and Artana, 2006). Berdasarkan prinsip ekonomi, distribusi dengan volume lebih besar akan lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan mengangkut volume yang

lebih kecil, hal ini juga berlaku sama dengan pengangkutan menggunakan kapal pengangkut LNG. Namun, pada beberapa kondisi khusus, penggunaan kapal yang berukuran lebih kecil akan lebih efisien dari sisi ekonomi. Hal tersebut sangat tergantung dari sisi permintaan konsumen dan konsep distribusi LNG yang dirancang.

2.3.3 Terminal Penerima LNG (*Receiving Terminal LNG*)

Terminal penerima merupakan fasilitas yang berfungsi untuk menerima LNG dari kapal, menyimpan dan memproses LNG sehingga menjadi bentuk gas sampai bisa dimanfaatkan oleh *end user*. Dalam terminal penerima terdapat beberapa sistem yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Sistem labuh untuk Kapal LNG (*Berthing System*)

Sistem ini terdiri dari dermaga untuk labuh kapal dan sistem tambatnya.

2. Sistem bongkar muat LNG (*Unloading System*)

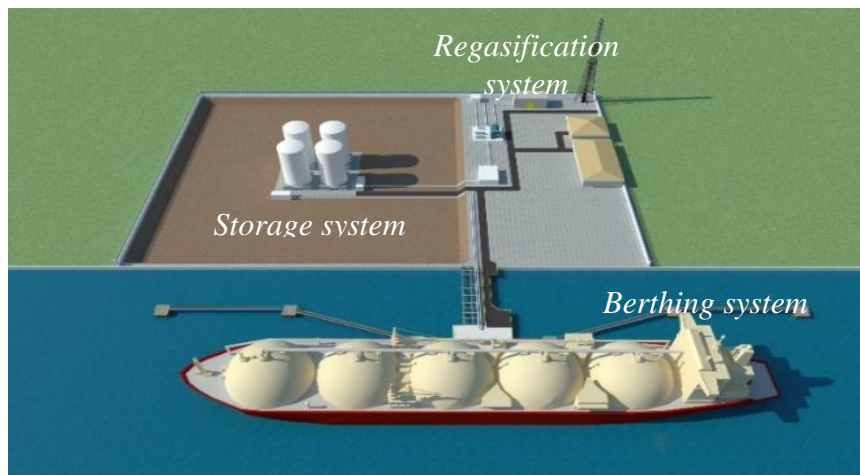
Sistem ini terdiri dari *loading arm* atau *flexible hose* untuk koneksi antara kapal dengan dermaga ketika memindahkan LNG, *purging* sistem untuk membersihkan perpipaan serta peralatan untuk mengukur kuantitas LNG yang dikirimkan dari kapal menuju terminal penerima.

3. Sistem penyimpanan LNG (*Storage System*)

Sistem ini terdiri dari tangki penyimpanan LNG, pompa *cryogenic* dan *Boil-off Gas treatment system* untuk mengolah uap yang terbentuk selama kegiatan bongkar muat dan selama penyimpanan LNG dan peralatan pendukung lainnya.

4. Sistem Regasifikasi (*Regasification System*)

Sistem ini terdiri dari *vaporizer* berupa *heat exchanger* untuk mengubah LNG menjadi bentuk gas, pipa gas yang digunakan untuk mendistribusi kan gas bumi ke pembangkit listrik dan peralatan *metering unit* untuk menghitung kuantitas gas alam yang dikirimkan dari terminal penerima ke pembangkit listrik.

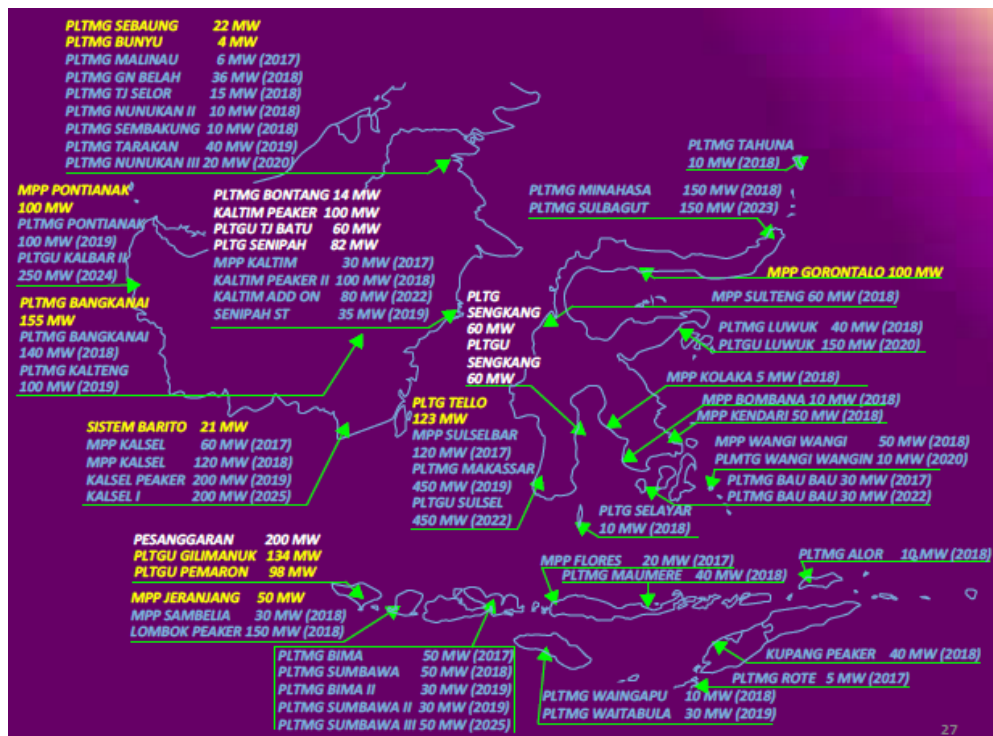


Gambar 2.4 Contoh Terminal Penerima LNG

Pada Gambar 2.4 memperlihatkan salah satu contoh terminal penerima dengan sistem yang ada untuk melayani kapal LNG, mengubah LNG menjadi gas dan mengirimkan gas tersebut menuju *end user*. Secara umum proses yang terjadi di terminal penerima dimulai dari kapal LNG yang kemudian dialirkan ke tangki penyimpanan. Ketika proses pemindahan ke tangki tersebut, akan ada LNG yang berubah fase menjadi gas, dimana proses tersebut dikenal dengan istilah Boil-off Gas (BOG). Oleh karena itu ketika proses *unloading* LNG, BOG dialirkan kembali ke kapal LNG melalui *return gas blower* atau diolah dengan *BOG Treatment system*. BOG juga terjadi di tangki penyimpanan meskipun tidak dalam proses *unloading* LNG, BOG pada kondisi ini dialirkan melalui kompresor untuk kemudian didistribusikan melalui pipa gas. Sedangkan LNG yang ada di tangki penyimpanan dilakukan proses regasifikasi untuk kemudian dialirkan melalui pipa gas ke pembangkit listrik atau ke *end user*.

2.4 Pembangkit di Wilayah Indonesia Bagian Tengah

Wilayah Indonesia bagian tengah yang akan di analisis pada studi ini terdiri dari Kalimantan, Sulawesi, dan Nusa Tenggara. Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan mengapa pengembangan kapasitas listrik di wilayah Indonesia bagian tengah ini perlu dilakukan. Beberapa wilayah tersebut beserta kebutuhan gasnya dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kebutuhan Gas pada Wilayah Indonesia Bagian Tengah

Pada studi ini akan dilakukan pengkajian pola distribusi di Indonesia wilayah tengah dengan asumsi hub yang terletak di Makassar sesuai dengan RUPTL PLN 2017-2026. Berikut merupakan penjelasan untuk masing-masing wilayah yang berada di Indonesia bagian tengah.

2.4.1 Kalimantan

Pada RUPTL PLN 2017-2026 wilayah Kalimantan dibagi menjadi 5 yaitu: Kalimantan Barat, Kalimantan Selatan, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Kalimantan Utara. Untuk wilayah Kalimantan Barat, sampai dengan tahun 2016, sebagian besar pasokan listrik masih bersumber dari pembangkit berbahan bakar minyak. Kecukupan dan keandalan pasokan masih relatif rendah karena umur beberapa mesin diesel sudah tua dan cadangan pembangkitan tidak memadai. Padahal, pertumbuhan ekonomi di Kalimantan relatif meningkat setiap tahunnya. Dengan demikian, pada wilayah ini harus dilakukan rencana pembangkit yang baru untuk memenuhi kebutuhan listriknya.

Provinsi Kalimantan Selatan memiliki sumber daya energi yang melimpah dengan tersedianya cadangan batubara dan methane yang cukup besar. Pengusahaan sumber daya alam batubara dan mulai berkembangnya perkebunan kelapa sawit telah membuat ekonomi Kalsel tumbuh positif dan mempunyai prospek yang bagus. Kondisi yang demikian akan berpengaruh terhadap kebutuhan tenaga listrik yang akan semakin bertambah di Kalimantan Selatan.

Sistem kelistrikan di Provinsi Kalimantan Tengah masih di dominasi oleh sistem isolated dengan daya pembangkitan rata-rata dalam kondisi cukup namun tanpa cadangan yang memadai. Di lain sisi, pertumbuhan ekonomi di Provinsi Kalteng dalam lima tahun terakhir tumbuh cukup tinggi yaitu rata-rata sebesar 7.5% per tahun. Dengan keadaan yang demikian, diharapkan pengembangan kapasitas pembangkit mampu mencukupi kebutuhan listrik yang semakin besar.

Pada Provinsi Kalimantan Timur, hanya ada satu sistem kelistrikan yang paling berkembang yaitu sistem Mahakam. Menurut RUPTL PLN 2017-2026, dalam beberapa tahun terakhir, kondisi sistem kelistrikan di Kaltim masih belum mampu mengimbangi pertumbuhan beban listrik yang begitu tinggi karena keterbatasan daya pembangkit. Akibatnya, banyak daftar tunggu seperti industri yang belum dapat dilayani. Dengan begitu, penyedia listrik harus segera an dengan beberapa Provinsi lain di Kalimantan, Provinsi Kalimantan Utara juga memiliki kebutuhan listrik dalam beberapa tahun kedepan diperkirakan akan tumbuh tinggi. Namun, karena adanya keterbatasan daya pembangkit, sistem kelistrikan di Kaltara tidak mampu mengimbangi kebutuhan beban listrik yang begitu tinggi. Dalam rangka untuk memenuhi kebutuhan beban listrik yang tinggi, maka akan direncanakan dibangun pembangkit, jaringan distribusi, dan beberapa strategi yang lain dengan mempertimbangkan ketersediaan potensi energi.

Dengan adanya penjelasan di masing-masing Provinsi pada wilayah Kalimantan, berikut ringkasan proyeksi rencana pengembangan pembangkit dengan kebutuhan tenaga listrik di Kalimantan hingga tahun 2026 yang dapat dilihat pada Tabel 2. 1

Tabel 2. 1 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Kalimantan

| No | Pembangkit | Jenis | Kapasitas (MW) | COD |
|----|---------------|-------|----------------|------|
| 1 | Malinau | PLTMG | 6 | 2017 |
| 2 | Gunung Belah | PLTMG | 36 | 2018 |
| 3 | Tanjung Selor | PLTMG | 15 | 2018 |
| 4 | Nunukan II | PLTMG | 10 | 2018 |
| 5 | Sembakung | PLTMG | 10 | 2018 |
| 6 | Tarakan | PLTMG | 40 | 2019 |
| 7 | Nunukan III | PLTMG | 20 | 2020 |
| 8 | Pontianak | PLTMG | 100 | 2019 |
| 9 | Kalbar II | PLTGU | 250 | 2024 |
| 10 | Bangkanai | PLTMG | 140 | 2018 |
| 11 | Kalteng | PLTMG | 100 | 2019 |
| 12 | MPP Kalsel | PLTMG | 60 | 2017 |
| 13 | MPP Kalsel | PLTMG | 120 | 2018 |
| 14 | Kalsel Peaker | PLTMG | 200 | 2019 |
| 15 | Kalsel I | PLTMG | 200 | 2025 |
| 16 | Kaltim | PLTMG | 30 | 2017 |
| 17 | Kaltim Peaker | PLTMG | 100 | 2018 |
| 18 | Kaltim Add On | PLTMG | 80 | 2022 |
| 19 | Senipah ST | PLTMG | 35 | 2019 |

2.4.2 Sulawesi

Pada Wilayah Sulawesi, Provinsi dibagi menjadi Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Gorontalo, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Barat. Berdasarkan data RUPTL PLN 2017-2026, pertumbuhan ekonomi Provinsi Sulawesi Utara pada beberapa tahun terakhir ini cukup tinggi yaitu 7.4% per tahun. Kontribusi yang paling besar yaitu dari sektor perdagangan, hotel, dan restoran masih menjadi pendorong utama pertumbuhan ekonomi. Sulawesi Utara memiliki potensi sumber energi terbarukan yang cukup besar. Sehingga perlu dilakukan perencanaan pembangunan pembangkit yang baik beserta jaringan distribusi dengan memperhatikan potensi energi primer setempat dan kondisi geografisnya.

Untuk proyeksi kebutuhan listrik di Sulawesi Tengah, di Kota Palu sedang dikembangkan. Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) sebagai kawasan industri, untuk mengembangkan sektor industri baik yang berbasis potensi lokal maupun industri

manufaktur. Dengan memperhatikan data penjualan tenaga listrik pada 5 tahun terakhir, dan mempertimbangkan kecenderungan pertumbuhan ekonomi regional termasuk adanya kawasan industri, maka harus dilakukan penambahan kapasitas pembangkit. Kapasitas pembangkit harus memperhatikan potensi energi primer setempat karena di Sulawesi Tengah memiliki potensi energi yang cukup besar terutama tenaga air dan gas alam.

Infrastruktur dan fasilitas umum di Provinsi Gorontalo terus dibangun dan dikembangkan untuk dapat mengejar ketertinggalan dari provinsi lain. Pemerintah juga meluncurkan berbagai program unggulan berbasis potensi daerah setempat agar ekonomi dapat tumbuh lebih cepat. Pada beberapa tahun terakhir ekonomi Gorontalo berhasil tumbuh signifikan mencapai rata-rata di atas 7.5% per tahun, dan hal ini mendorong kebutuhan pasokan listrik meningkat signifikan. Untuk dapat terus mendukung pertumbuhan ekonomi, maka PLN harus mampu memenuhi kebutuhan listrik di Gorontalo dengan melakukan pengembangan sarana kelistrikan.

Makassar sebagai ibukota Provinsi Sulawesi Selatan telah tumbuh menjadi daerah industri dan sekaligus sebagai pusat perdagangan untuk Kawasan Timur Indonesia (KTI). Pertumbuhan ekonomi kota Makassar merupakan kontribusi utama bagi Provinsi Sulsel, bahkan pertumbuhan ekonomi di kota tersebut lebih tinggi dari pertumbuhan ekonomi nasional. Pertumbuhan ekonomi yang sangat tinggi tersebut telah mendorong kebutuhan listrik yang juga tumbuh secara signifikan. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang tumbuh cepat, maka akan direncanakan pembangunan pembangkit dengan memperhatikan distribusi yang efisien.

Kondari, Kolaka, Bau-Bau, Raha, dan Wangi-Wangi merupakan kota-kota utama di Sulawesi Tenggara yang berkembang cukup pesat. Potensi alam yang kaya akan cadangan mendorong pertumbuhan ekonomi setempat. Pertumbuhan ekonomi di Provinsi Sulawesi Tenggara selama 5 tahun terakhir cukup tinggi yaitu mencapai rata-rata 8.4% per tahun. Sejalan dengan kondisi tersebut, pertumbuhan pemakaian energi listrik dalam periode yang sama juga meningkat rata-rata 13% per tahun.

Dengan adanya peningkatan tersebut, maka penyedia listrik diharapkan mampu memenuhi kebutuhan tenaga listrik di Provinsi Sulteng dengan distribusi yang efisien dan pemanfaatan potensi energi primer setempat.

Sama halnya dengan provinsi lain yang ada di Sulawesi, Provinsi Sulawesi Barat dengan Mamuju sebagai ibukotanya merupakan daerah yang sedang berkembang dengan kondisi pertumbuhan ekonomi rata-rata tumbuh 8.5%. Seiring dengan berkembangnya perekonomian di Provinsi Sulawesi Selatan, maka kebutuhan listrik juga harus dapat terpenuhi.

Dengan adanya penjelasan mengenai kebutuhan listrik yang ada pada masing-masing provinsi di Sulawesi, berikut merupakan proyeksi kebutuhan gas di masing-masing wilayah yang dapat dilihat pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Sulawesi

| No | Pembangkit | Jenis | Kapasitas (MW) | COD |
|----|-------------|-------|----------------|------|
| 1 | Tahuna | PLTMG | 10 | 2018 |
| 2 | Minahasa | PLTMG | 150 | 2018 |
| 3 | Sulbagut | PLTMG | 150 | 2023 |
| 4 | Sulteng | PLTMG | 60 | 2018 |
| 5 | Luwuk | PLTMG | 40 | 2018 |
| 6 | Luwuk | PLTGU | 150 | 2020 |
| 7 | Kolaka | PLTMG | 5 | 2018 |
| 8 | Bombana | PLTMG | 10 | 2018 |
| 9 | Kendari | PLTMG | 50 | 2018 |
| 10 | Wangi-Wangi | PLTMG | 50 | 2018 |
| 11 | Wangi-Wangi | PLTMG | 10 | 2020 |
| 12 | Bau-Bau | PLTMG | 30 | 2017 |
| 13 | Bau-Bau | PLTMG | 30 | 2022 |
| 14 | Selayar | PLTMG | 10 | 2018 |
| 15 | Sulselbar | PLTMG | 120 | 2017 |
| 16 | Makassar | PLTMG | 450 | 2019 |
| 17 | Sulsel | PLTGU | 450 | 2022 |

2.4.3 Nusa Tenggara

Kondisi perekonomian di Provinsi NTB relatif cukup baik dalam tiga tahun terakhir tumbuh rata-rata diatas 5% per tahun. Sesuai dengan kondisi alamnya yang

bagus, kota-kota pada provinsi ini akan dikembangkan menjadi salah satu pusat tujuan wisata internasional. Dengan demikian, ekonomi NTB kedepan diharapkan akan tumbuh lebih tinggi lagi dan kebutuhan listrik juga akan bertumbuh pesat. Dalam rangka memenuhi kebutuhan listriknya, direncanakan pembangunan sarana kelistrikan meliputi pembangkit, dan distribusi dengan mempertimbangkan potensi energi primer setempat.

Di sisi lain, Provinsi Nusa Tenggara Timur, kondisi perekonomian di provinsi ini cukup baik dalam lima tahun terakhir tumbuh rata-rata 5.3% pertahun. Untuk mengurangi penggunaan BBM terutama saat beban puncak, maka penyedia listrik berencana untuk membangun PLTMG dengan bahan bakar gas alam. Sehingga dalam mempersiapkan penambahan kapasitas harus memperhatikan jaringan distribusi dan penggunaan energi yang efisien. Berikut merupakan proyeksi perencanaan kebutuhan gas di Provinsi Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur yang dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut ini.

Tabel 2. 3 Proyeksi Rencana Pembangkit di Wilayah Nusa Tenggara

| No | Pembangkit | Jenis | Kapasitas (MW) | COD |
|----|---------------|-------|----------------|------|
| 1 | Sambelia | PLTMG | 30 | 2018 |
| 2 | Lombok Peaker | PLTMG | 150 | 2018 |
| 3 | Bima | PLTMG | 50 | 2017 |
| 4 | Sumbawa | PLTMG | 50 | 2018 |
| 5 | Bima II | PLTMG | 30 | 2019 |
| 6 | Sumbawa II | PLTMG | 30 | 2019 |
| 7 | Sumbawa III | PLTMG | 50 | 2025 |
| 8 | Waingapu | PLTMG | 10 | 2018 |
| 9 | Waitabula | PLTMG | 30 | 2019 |
| 10 | Flores | PLTMG | 20 | 2017 |
| 11 | Maumere | PLTMG | 40 | 2018 |
| 12 | Alor | PLTMG | 10 | 2018 |
| 13 | Kupang Peaker | PLTMG | 40 | 2018 |
| 14 | Rote | PLTMG | 5 | 2018 |

2.5 Pemilihan Terminal dengan Metode AHP-PROMETHEE

Desain distribusi LNG ke 50 pembangkit yang berada di wilayah Indonesia bagian Tengah direncanakan akan menggunakan Makassar sebagai hub terminal

LNG. Dari terminal tersebut, LNG akan diangkut menggunakan *mini LNG carrier* menuju ke masing-masing pembangkit yang telah ditentukan. Pada studi ini akan dilakukan pemilihan terminal LNG di Makassar dengan 3 konsep yang akan dikembangkan, yaitu:

1. FSU (*Floating Storage Unit*) dan *Onshore Regasification*
2. FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*)
3. *Onshore LNG terminal*

Untuk menentukan tipe Terminal LNG yang akan digunakan di Makassar, solusi yang dapat ditawarkan adalah penggunaan *Multi Criteria Decision Making* (MCDM). MCDM merupakan teknik pengambilan keputusan dari beberapa alternatif yang ada berdasarkan kriteria-kriteria tertentu (Rahardjo, Stok and Yustina, 2000). Beberapa contoh metode yang termasuk MCDM adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (Auliya Rahmayani, 2016) , *Preference Ranking Organization Methode for Enrichment Evaluation* (PROMETHEE) (Zhaoxu and Min, 2010), *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), *Eliminasi Et Choix Traduisant la Realite* (ELECTRE) (Khamsehchi, Khishvand and Abdolhosseini, 2016), dan beberapa metode lainnya.

Untuk pemilihan tipe terminal LNG pada studi ini, maka akan digunakan penggabungan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) dan PROMETHEE (*Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations*) atau yang biasa disebut AHP-PROMETHEE. Pemilihan metode tersebut dilakukan berdasarkan pertimbangan kelebihan yang dimiliki oleh masing-masing metode (Lemantara, Setiawan and Aji, 2013).

Beberapa kriteria akan digunakan dalam pemilihan Terminal LNG. Kriteria tersebut harus mampu menjamin bahwa proses rantai pasok dari *supply* hingga ke *end user* dapat dilayani dengan efisien dalam segi kemudahan, keamanan, dan biaya. Beberapa kriteria yang akan digunakan dalam pemilihan terminal LNG, yaitu: biaya, teknis, keselamatan, dan, operasional. Kemudian dari kriteria yang sudah ditentukan maka dilakukan penentuan sub kriteria terhadap masing-masing kriteria. Beberapa sub kriteria tersebut, yaitu: Kondisi lingkungan, kemudahan

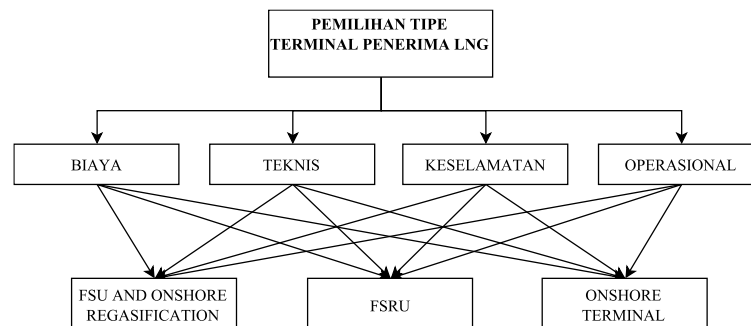
offloading, keterujian teknologi, investasi, biaya operasional dan perawatan, waktu pembangunan, keselamatan umum, dampak lingkungan, aksesabilitas, perijinan, dan kemudahan operasional

2.5.1 Metode AHP-PROMETHEE

Di antara banyak metode MCDM (*Multi Criteria Decision Making*), yang paling dikenal adalah AHP, metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Saaty pada penelitiannya (T.L., 1977, 1980). AHP didasarkan pada pembuatan perbandingan berpasangan antar alternatif untuk setiap kriteria sehingga mencapai satu alternatif yang terpilih. Dalam metode AHP, persepsi manusia atau yang dianggap sebagai *expert judgement* digunakan sebagai inputan. Metode AHP menggunakan 3 prinsip utama yang harus dipahami, yaitu:

1. Pembuatan Hirarki (*Construction of the hierarchy*)

Masalah yang memiliki struktur kompleks akan dibagi menjadi bagian-bagian secara hirarki agar lebih jelas. Untuk mendapatkan hasil yang akurat akan dibagi terhadap unsur-unsur atau kriteria-kriteria hingga tidak dapat dibagi lagi, sehingga didapatkan beberapa persoalan yang akan dipecahkan.



Gambar 2.6 Struktur Hirarki pada Pemilihan Tipe Terminal LNG
(Agarwal *et al.*, 2014)

Pendefinisian tujuan dari yang umum sampai khusus, dimana tingkat paling atas adalah tujuan dan diikuti tingkat kriteria, subkriteria dan seterusnya ke bawah sampai pada tingkat yang paling bawah adalah tingkat alternatif. Penyusunan hirarki bertujuan untuk memudahkan pengambil keputusan dalam menganalisis dan menarik kesimpulan terhadap permasalahan. Ilustrasi dari penjelasan sturkur

hirarki AHP dapat dilihat pada Gambar 2.6. Berikut merupakan penjelasan mengenai masing-masing alternative yang diberikan pada penelitian ini:

1. FSU (*Floating Storage Unit*) dan *Onshore Regasification*
 2. FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*)
 3. *Onshore LNG terminal*
2. Menentukan Prioritas (*Priority Setting*)

Dalam menentukan prioritas akan dilakukan perbandingan berpasangan antar dua elemen pada tingkat yang sama. Kedua elemen tersebut dibandingkan dengan melihat tingkat preferensi antara elemen satu dengan elemen lainnya berdasarkan pada kriteria tertentu. Perbandingan tersebut dapat disajikan dalam bentuk matriks pairwise comparisons yaitu matriks perbandingan berpasangan yang memuat tingkat preferensi beberapa alternatif pada setiap kriteria. Skala prefensi AHP yang telah dijelaskan dapat dilihat pada Tabel 2. 4.

Tabel 2. 4 Skala Preferensi AHP (Agarwal *et al.*, 2014)

| Tingkat Kepentingan | Definisi | Penjelasan |
|---------------------|---|---|
| 1 | Sama Pentingnya | Dua elemen mempunyai pengaruh yang sama besar |
| 3 | Sedikit lebih penting | Pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu elemen dibandingkan dengan elemen lainnya |
| 5 | Lebih Penting | Pengalaman dan penilaian sangat kuat menyokong satu elemen dibandingkan dengan elemen lainnya |
| 7 | Jelas lebih penting | Satu elemen kuat disokong dan dominan terlihat dalam praktek |
| 9 | Mutlak sangat penting | Bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang mungkin menguatkan |
| 2, 4, 6, 8 | Nilai-nilai antara dua nilai pertimbangan yang berdekatan | Nilai ini diberikan apabila ada dua kompromi di antara dua pilihan |
| Kebalikan | $a_{ij} = 1/a_{ji}$ | Jika aktifitas ke-i mendapat suatu angka bila dibandingkan dengan aktivitas ke-j, maka j mempunyai nilai kebalikannya |

3. Peninjauan Konsistensi (*Consistency Check*)

Peninjauan konsistensi logis merupakan prinsip paling penting pada AHP. Hal ini dapat dicapai dengan mengagregasikan seluruh *eigen vector* yang diperoleh

dari berbagai tingkatan hirarki dan diperoleh suatu *vector composite* yang menghasilkan urutan pengambilan keputusan (Macharis *et al.*, 2004).

Metode *Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations* (PROMETHEE) merupakan metode yang pertama kali diperkenalkan oleh Brans (Brans and Vincke, 1985). Metode ini merupakan salah satu metode *outranking* yang digunakan untuk menentukan prioritas dari analisis multikriteria. Metode *outranking* ini membandingkan pasangan alternatif pada setiap kriteria terlebih dahulu (Zhaoxu and Min, 2010b). Pada studi ini PROMETHEE memiliki dua tahap yang akan dilakukan yaitu: PROMETHEE I dan PROMETHEE II. Pada PROMETHEE I akan dilakukan perankingan sebagian dan pada PROMETHEE II akan dilakukan perankingan seluruhnya berdasarkan beberapa alternatif.

2.6 Ship Routing dengan Pendekatan *Vehicle Routing Problem*

Permasalahan penentuan rute dan jadwal kapal (*ship routing and scheduling problems*) memiliki beberapa kesamaan dengan permasalahan yang banyak dibahas pada *Vehicle Routing Problem* (VRP), dimana ini merupakan peluang bahwa metode VRP dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan *Ship Routing Problem* (SRP). Terdapat beberapa perbedaan yang digunakan sebagai catatan ketika akan menggunakan metode VRP yang umum digunakan pada transportasi darat akan digunakan sebagai pendekatan pada SRP (transportasi laut). Beberapa perbedaan antara kedua metode tersebut diberikan oleh (Ronen, 1983; Christiansen, Fagerholt and Ronen, 2004), yaitu sebagai berikut:

- Tipe kapal pada sebuah armada sangat mungkin terdiri dari beberapa ukuran kapasitas maupun kecepatan yang berbeda termasuk juga perbedaan pada struktur pembiayaan untuk masing-masing kapal. Sangat dimungkinkan untuk dua kapal yang identik, dikarenakan adanya fluktuasi di pasar, memiliki struktur pembiayaan yang berbeda.
- Keputusan penentuan rute dan penjadwalan kapal sangat dipengaruhi oleh moda operasi kapal
- Sangat dimungkinkan dalam operasinya, kapal tidak perlu kembali ke pelabuhan awal.

- Ketidakpastian yang tinggi dikarenakan kondisi lingkungan seperti karena cuaca (gelombang, arus, dan angin). Disamping itu, kapal memiliki waktu pelayaran yang lebih lama.
- Kapal dioperasikan secara kontinu sedangkan pada transportasi darat, kendaraan sering kali tidak dioperasikan selama 24 jam secara terus menerus.
- Keterbatasan kedalaman perairan sangat mempengaruhi kemampuan kapal untuk dilayani pada pelabuhan tertentu.

Secara umum ada dua pendekatan dalam riset operasi yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yaitu, optimasi/ pemrograman matematis dan simulasi. Pada bagian ini akan dipaparkan secara umum dua metode tersebut.

2.6.1 Pemrograman Matematis/ *Mathematical Programming*

Pengertian dari istilah pemrograman/ *programming* dalam terminologi pemrograman matematis lebih memiliki pengertian “perencanaan/ *planning*” sehingga pemrograman matematis dapat diartikan sebagai penggunaan pemodelan matematis untuk membantu proses perencanaan. Pemrograman matematis adalah teknik yang penting dalam bidang keilmuan riset operasi dan management science. Dalam riset operasi, solusi optimal didapatkan dengan memaksimalkan maupun meminimalkan sebuah fungsi tujuan (*objective function*) dengan memperhatikan batasan-batasan yang diberikan kedalam model. Untuk mengimplementasikan pemrograman matematis, ada beberapa langkah yang dapat dilakukan diantaranya adalah:

1. Mendefinisikan permasalahan dan mengumpulkan data yang relevan
2. Memformulasikan model matematis untuk model yang akan dibahas
3. Mengembangkan prosedur berbasis komputer (*computer-based procedure*) untuk menemukan solusi dari permasalahan yang dibahas
4. Melakukan pengujian dan perbaikan pada model jika diperlukan
5. Melakukan evaluasi pada solusi dan implementasinya.

Model pemrograman matematis terdiri dari empat elemen diantaranya adalah: variabel-variabel keputusan (*decision variables*), fungsi objektif (*objective functions*), batasan (*constraints*), dan parameter-parameter. Berikut ini adalah bentuk umum dari model pemrograman matematis:

Memaksimalkan/meminimalkan:

$$f(x_1, \dots, x_n) \quad (2.1)$$

Batasan/ *constraints*:

$$g_1(x_1, \dots, x_n) \begin{cases} \leq \\ - \\ \geq \end{cases} b \quad (2.2)$$

$$x_j \in R, j = 1, \dots, n \quad (2.3)$$

Persamaan (2.1) adalah fungsi objektif dari sebuah permasalahan. Batasan diberikan pada permasalahan tersebut dan ditunjukkan pada persamaan (2.2). Persamaan (3.3) menjelaskan bahwa variabel-variabel keputusan adalah bilangan riil.

Tabel 2. 5 Klasifikasi dari Pemrograman Matematis

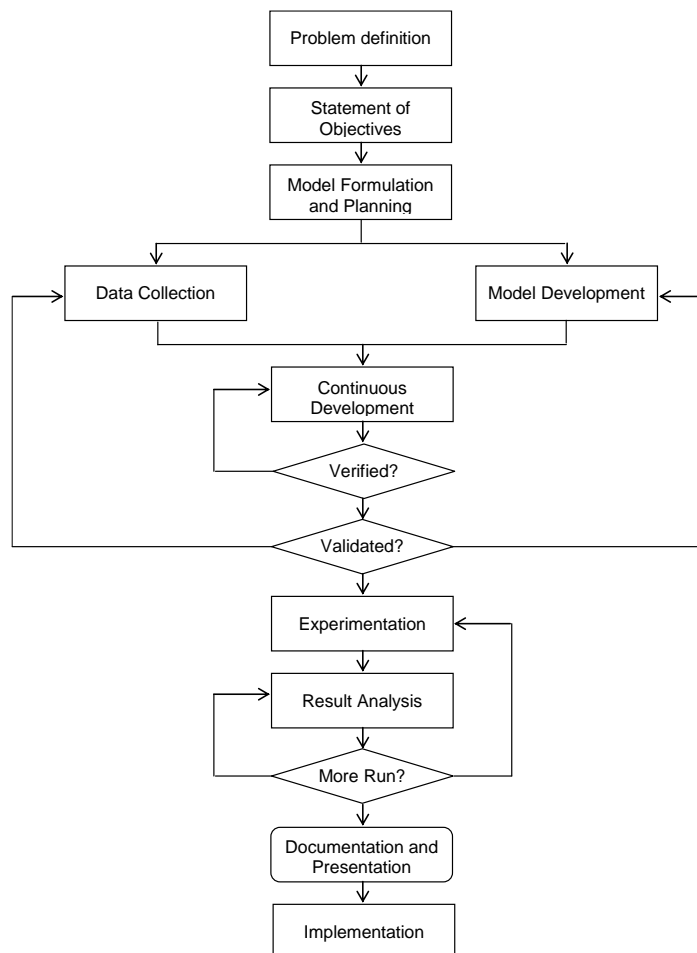
| Characteristic | Property | Classification |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------|
| Number of decision variables | One | Univariate |
| | More than one | Multivariate |
| Type of decision variables | Continuous | Continuous |
| | Some are integers | Integer of discrete |
| Type of functions | Linear | Linear |
| | Some are nonlinear | Nonlinear |
| Number of objective functions | One | Single |
| | More than one | Multiple |
| Problem formulation | Subject to constraints | Constrained |
| | Not subject to constraints | Unconstrained |
| Condition of input data | Known | Deterministic |
| | Unknown in advance | Stochastic |

Ada beberapa kategori dari model pemrograman matematis dimana perbedaan kategori dipengaruhi oleh beberapa faktor. Tabel 2. 5 merupakan

rangkuman atau klasifikasi dari beberapa model pemrograman matematis yang dapat ditemukan pada beberapa publikasi ilmiah.

2.6.2 Simulasi/ *Simulation*

Simulasi adalah metode yang penting dalam pengambilan keputusan untuk masalah-masalah riil di dunia. Metode simulasi ini digunakan untuk menggambarkan dan menganalisa perilaku dari sebuah system. Metode ini sering disebut sebagai metode “what-if” karena proses dalam metode simulasi dilakukan dengan menjawab pertanyaan-pertanyaan “what-if” yang diberikan dalam prosedur simulasi. Pada Gambar 2.7 adalah ilustrasi dari langkah-langkah umum dalam proses pada metode simulasi.



Gambar 2.7 Langkah-Langkah dalam Melakukan Simulasi
Pemodelan simulasi membutuhkan analisis yang baik, data-data statistik, komunikasi, organisasional, dan keterampilan rekayasa (*engineering skill*).

Pemahaman yang baik terhadap system yang dibahas mutlak diperlukan untuk mengetahui hubungan antara penyebab dan dampak (*cause and effect*) yang menentukan unjuk kerja dari system.

Pemahaman yang baik terhadap pendekatan statistik sangat dibutuhkan untuk dapat mendesain pengujian dengan baik dan melakukan analisa secara tepat serta dapat menginterpretasikan data input maupun luaran yang dihasilkan oleh simulasi.

2.7 Formulasi *Vehicle Routing Problem* (VRP)

Secara umum VRP dapat didefinisikan sebagai masalah dalam menentukan jumlah kendaraan yang akan digunakan untuk melayani sebuah jaringan distribusi yang terdiri dari satu buah depot ke beberapa lokasi (*demand points*). Jumlah kendaraan dan rute yang dilalui oleh kendaraan adalah jarak total yang terdekat untuk seluruh kendaraan. Kapasitas dan waktu operasi dari kendaraan akan berpengaruh kepada jumlah destinasi yang dapat dilayani dalam sebuah rute. Dalam desain rute, seluruh kendaraan berangkat dan kembali ke depot. Formulasi standar/*generic* dari VRP diberikan oleh (Golden, Magnanti and Nguyen, 1977) yang dapat dilihat pada beberapa persamaan berikut.

Meminimalkan:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{v=1}^{NV} c_{ij} x_{ij}^v \quad (2.4)$$

Batasan:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (j = 2, \dots, n) \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v = 1 \quad (i = 2, \dots, n) \quad (2.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ip}^v - \sum_{j=1}^n x_{pj}^v = 0 \quad (v = 1, \dots, NV; p = 1, \dots, n) \quad (2.7)$$

$$\sum_{i=1}^n d_i \left(\sum_{j=1}^n x_{ij}^v \right) \leq K_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i^v \sum_{j=1}^n x_{ij}^v + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}^v x_{ij}^v \leq T_v \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=2}^n x_{i1}^v \leq 1 \quad (v = 1, \dots, NV) \quad (2.11)$$

$$X \in S \quad (2.12)$$

$$X_{ij}^v = 0 \text{ or } 1 \text{ for all } i, j, v \quad (2.13)$$

dimana:

- n : jumlah lokasi
- NV : jumlah kendaraan
- K_v : kapasitas kendaraan v
- T_v : waktu maksimal kendaraan v dapat dioperasikan pada sebuah rute
- d_i : kebutuhan/demand pada tiap lokasi i ($d_1=0$)
- t_1^v : waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan v untuk melayani lokasi i ($t_1^v=0$)
- t_{ij}^v : waktu tempuh kendaraan v dari lokasi i ke lokasi j ($t_{ij}^v=\infty$)
- c_{ij} : biaya transport dari lokasi i ke lokasi j
- x_{ij}^v : 1 jika rute $i - j$ dilayani oleh kendaraan v dan bernilai 0 jika tidak dilayani
- X : matriks dengan komponen $x_{ij} = \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

Persamaan (2.4) merupakan fungsi objektif yang menyatakan bahwa total jarak yang ditempuh seluruh kendaraan untuk melayani jaringan transportasi dapat diminimalkan. Biaya transportasi dapat diminimalkan dengan mengganti c_{ij} dengan koefisien biaya c_{ij}^v yang tergantung dari tipe kendaraan. Persamaan (2.5) dan (2.6) diberikan untuk memastikan bahwa setiap demand dilayani hanya oleh satu kendaraan. Kontinuitas dari rute diberikan oleh persamaan (2.7), dimana jika kendaraan melayani lokasi demand, maka kendaraan tersebut juga harus berangkat dari lokasi demand tersebut setelah melayani lokasi tersebut. Persamaan (2.8) adalah batasan yang diberikan untuk kapasitas kendaraan sedangkan persamaan (2.9) batasan untuk total waktu yang diberikan kepada masing-masing kendaraan v . Persamaan (2.10) dan (2.11) diberikan untuk memastikan kendaraan yang dibutuhkan tidak melebihi kendaraan yang tersedia dalam sebuah armada.

Persamaan-persamaan pada (2.1-2.13) dapat diperbarui untuk mengakomodasi batasan/konstrain lainnya dan memiliki peluang yang besar untuk dapat diaplikasikan untuk memecahkan masalah pada SRP.

2.7.1 Pemodelan *Set Partitioning* dan *Set Packing* untuk *Ship Routing Problem*

Banyak masalah SRP dapat diformulasikan kedalam pemrograman matematis salah satunya adalah formulasi set partitioning yang merupakan bagian dari pemrograman integer pada riset operasi. Salah satunya pada penelitian (Fisher and Rosenwein, 1989) mengembangkan system pengiriman/distribusi produk minyak untuk menentukan jumlah kapal tanker yang dibutuhkan dan rute dari kapal-kapal tersebut untuk melayani operasi militer. Pada permasalahan ini, jumlah kapal tanker yang akan dioperasikan ditentukan dengan memodelkan masalah tersebut kedalam set packing problem dengan mempertimbangkan seluruh jadwal yang *feasible* untuk kapal-kapal tanker tersebut.

(Ronen, 1995) mengembangkan system pengiriman/distribusi produk dengan menggunakan elastic set partitioning model dengan mempertimbangkan seluruh jadwal yang *feasible* untuk masing-masing kapal. Kedua model yang dikembangkan oleh (Fisher and Rosenwein, 1989; Ronen, 1995) memungkinkan pengguna/user memberikan batasan-batasan seperti waktu maksimal yang dialokasikan untuk loading atau waktu maksimal untuk berlayar pada kondisi balas. Batasan-batasan ini diberikan untuk membatasi jumlah jadwal yang *feasible* yang nantinya akan dipilih untuk mendapatkan solusi yang optimal. Berikut ini akan dibahas tentang formulasi untuk set partitioning dan set packing problem dan potensinya untuk dimanfaatkan untuk mendapatkan solusi optimal pada permasalahan distribusi LNG.

2.7.1.1 *Set Partitioning*

Jika i ($1, \dots, n$) adalah unit transportasi (kapal), j adalah jadwal alternatif, dimana $j \in J(i)$ yaitu jadwal yang membutuhkan unit transportasi i , dan k ($1, \dots, m$) jadwal yang ditugaskan (shipment/orders) dimana $j \in J(k)$ adalah jadwal untuk melakukan tugas k . C_j adalah biaya untuk seluruh jadwal j (sebagai fungsi dari unit transportasi dan jadwal penugasan kapal). Variabel-variabel keputusan y_j akan memiliki nilai satu (1) apabila jadwal j terpilih dalam proses optimasi dan akan bernilai nol (0) jika tidak terpilih. Formulasi dari model set partitioning dapat diberikan sebagai berikut:

$$Z = \text{Min } \sum_j C_j y_j \quad (2.14)$$

$$\sum_{j \in J(i)} y_j = 1 \quad \forall i \quad (2.15)$$

$$\sum_{j \in J(k)} y_j = 1 \quad \forall k \quad (2.16)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2.17)$$

Batasan pada formula (2.15) memastikan bahwa kapal (unit transportasi) hanya akan ditugaskan untuk melayani satu jadwal sedangkan batasan pada formula (2.16) untuk memastikan bahwa seluruh jadwal dilayani oleh kapal.

2.7.1.2 Set Packing Formulation

Jika pada *set partitioning problem* digunakan untuk meminimalkan total biaya transportasi, maka *set packing* digunakan untuk model memaksimalkan “keuntungan/profit” dalam pengoperasian unit transportasi (kapal). Jika pada *set partitioning problem* semua jadwal/lokasi harus dilayani, maka *set packing model* dapat digunakan untuk menentukan lokasi-lokasi mana saja yang akan memberikan keuntungan kepada operator. Model operasi seperti ini umum ditemukan pada perusahaan yang bergerak pada bisnis tramper. *Set packing* dapat diformulasikan sebagai berikut:

Memaksimalkan:

$$Z = \text{Max } \sum_j C_j y_j \quad (2.18)$$

$$\sum_{j \in J(i)} y_j \leq 1 \quad \forall i \quad (2.19)$$

$$\sum_{j \in J(k)} y_j \leq 1 \quad \forall k \quad (2.20)$$

$$y_j \in \{0,1\} \quad \forall j \quad (2.21)$$

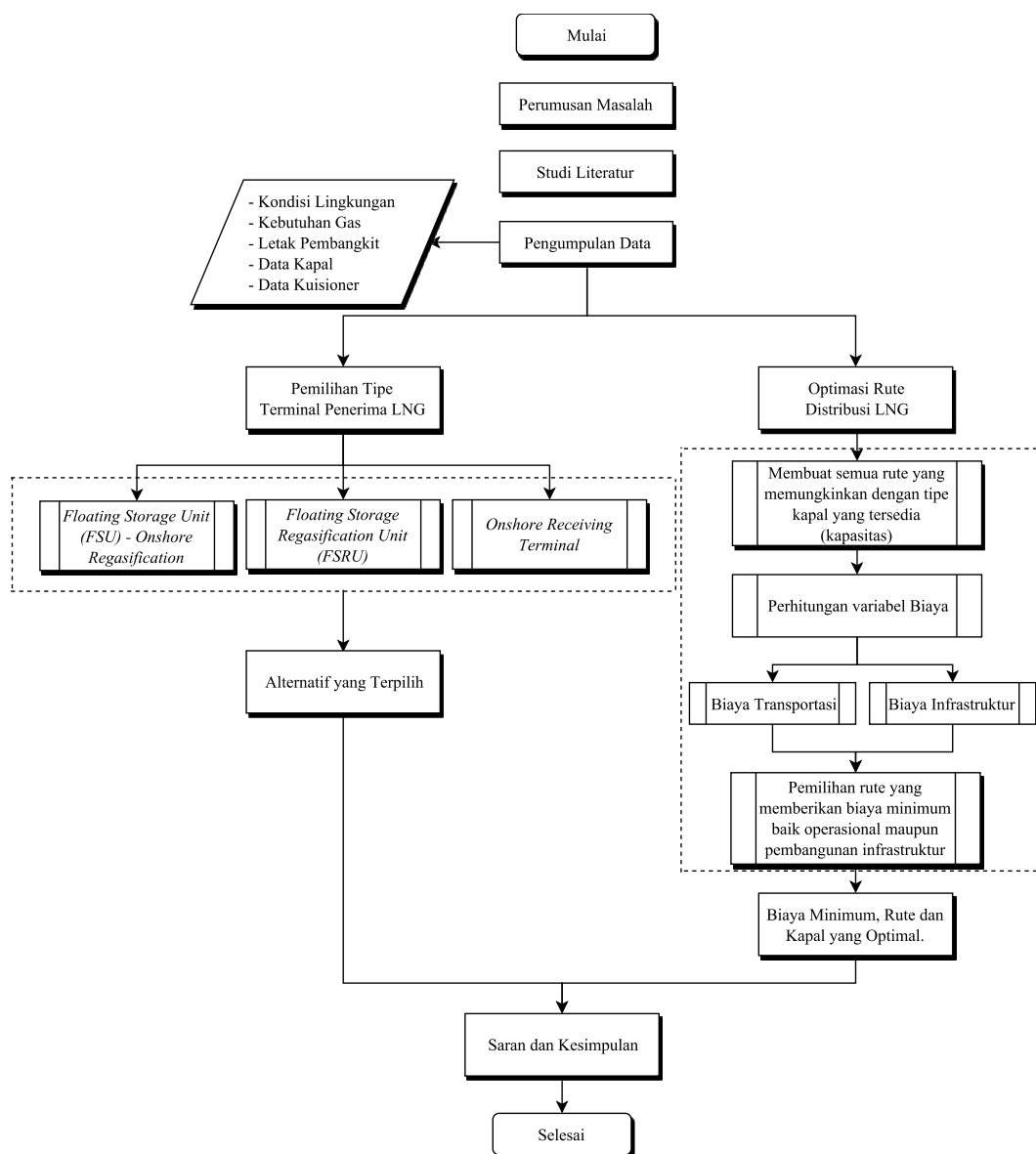
C_j adalah profit atau keuntungan dari pengoperasian kapal. Keuntungan diperoleh dari pemasukan yang diterima dari biaya jasa dikurangi dengan biaya-biaya yang dikeluarkan untuk pengoperasian kapal. Persamaan (2.18) adalah fungsi objektif dengan tujuan untuk memaksimalkan profit dari pengoperasian kapal. Persamaan (2.19) dan (2.20) berturut-turut digunakan untuk memastikan bahwa tidak semua lokasi harus dilayani oleh kapal dan tidak semua kapal dioperasikan untuk melayani lokasi. Persamaan (2.21) diberikan dimana variabel y_j akan

memiliki nilai satu (1) apabila jadwal j terpilih dalam proses optimasi dan akan bernilai nol (0) jika jadwal j tidak terpilih dalam proses optimasi.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian pada studi ini merupakan tahapan-tahapan yang digunakan untuk mencapai tujuan dari penelitian/tesis yaitu pemilihan tipe terminal LNG di Makassar yang akan diproyeksikan sebagai hub/pusat distribusi LNG di wilayah Indonesia bagian tengah. Berikut pada Gambar 3. 1 memperlihatkan diagram alir dari studi ini.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

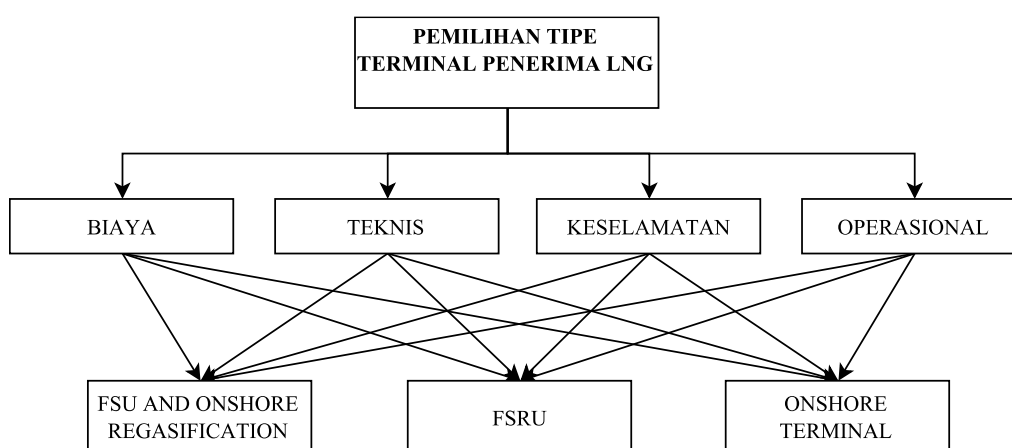
Dari diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 3. 1 terdapat dua lingkup pekerjaan pada studi ini yaitu: 1) Menentukan tipe terminal LNG yang akan digunakan sebagai hub di Makassar dan, 2) Melakukan optimasi distribusi LNG dari Makassar ke 10 pembangkit yang tersebar di wilayah di Indonesia bagian tengah. Untuk lebih jelasnya, berikut ini diberikan uraian dari masing-masing lingkup pekerjaan:

3.1 Pemilihan Tipe Terminal LNG di Makassar

Lingkup pekerjaan pertama pada studi ini yaitu melakukan pertimbangan-pertimbangan aspek teknologi untuk menghasilkan terminal penerima LNG yang aman, handal, dan ekonomis. Terdapat 3 alternatif dalam pemilihan tipe terminal penerima LNG yaitu:

1. Teminal LNG Terapung (FSU-*Floating Storage Unit*) dengan unit regasifikasi di darat
2. Terminal LNG dan Regasifikasi Terapung (FSRU - *Floating Storage Regasification Unit*)
3. Terminal LNG di darat (*onshore LNG terminal*)

Dalam melakukan kajian pemilihan ini, alternatif yang terpilih harus sesuai dengan beberapa kriteria yang ditunjukkan pada hirarki



Gambar 3. 2 Hirarki Tipe Terminal Penerima LNG

Kriteria tersebut nantinya akan diturunkan menjadi beberapa sub kriteria dan kemudian digunakan dalam melakukan penilaian melalui kuisioner yang

disebarkan pada beberapa *expert judgement*. Dari kuisioner tersebut kemudian akan dilakukan pembobotan dengan metode AHP-PROMETHEE untuk mencapai satu alternatif terpilih.

3.2 Optimasi Rute Distribusi LNG pada Pembangkit Indonesia Bagian Tengah

Desain distribusi LNG di wilayah Indonesia bagian tengah dilakukan dengan menentukan rute dan tipe/kapasitas kapal mini LNG beserta kecepatan rata-rata yang akan digunakan pada rute-rute tersebut. Kombinasi antara rute, kapasitas kapal, kecepatan kapal harus dapat meminimalkan total biaya distribusi. Ada tiga komponen biaya yang menjadi pertimbangan pada tesis ini yaitu 1) biaya transportasi yang terdiri dari biaya sewa kapal mini LNG, biaya bahan bakar, dan biaya pelayanan di pelabuhan, 2) biaya infrastruktur (jetty) di terminal penerima, dan 3) biaya investasi tangki di tiap pembangkit listrik.

Biaya infrastruktur sangat dipengaruhi oleh pemilihan rute karena akan berkenaan dengan ukuran kapal yang akan digunakan untuk mendistribusikan LNG. Pada kondisi kedalaman air yang terbatas, kapal yang berukuran lebih besar akan memiliki sarat yang tinggi sehingga untuk melakukan proses transfer dari kapal ke tangki yang ada di darat akan membutuhkan investasi jetty yang lebih besar (jetty yang lebih panjang) demikian sebaliknya. Investasi/kapasitas tangki di tiap pembangkit listrik juga sangat dipengaruhi oleh penentuan rute distribusi kapal. Rute dengan waktu yang lebih panjang akan memperbesar kapasitas/ukuran tangki pada tiap-tiap pembangkit listrik sedangkan total waktu rute yang pendek akan dapat mengurangi kapasitas tangki.

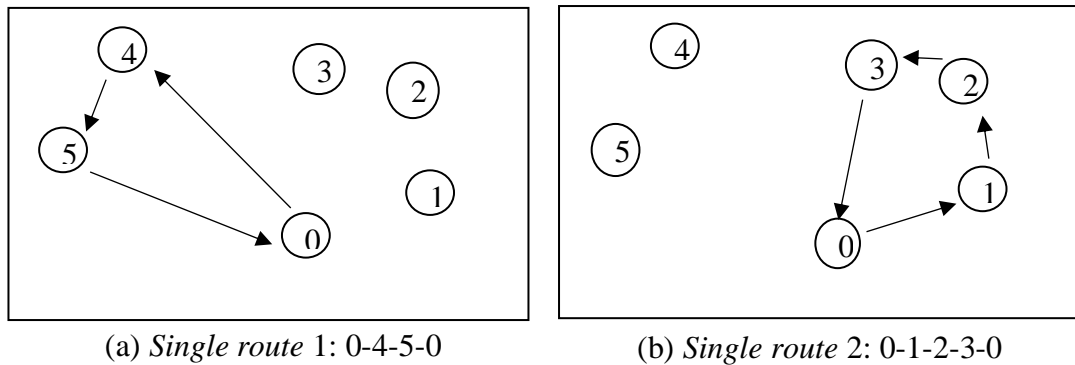
Adapun metode yang digunakan untuk menentukan rute yang optimal dilakukan dengan tiga langkah pengerjaan. Langkah pertama dilakukan dengan menyusun/membuat seluruh rute tunggal (*single route*) yang layak (*feasible*). Langkah kedua adalah dengan membuat rute jamak (*multiple route*) dengan mengkombinasikan beberapa rute tunggal yang dihasilkan dari langkah pertama. Langkah ketiga adalah menentukan kombinasi rute yang memberikan total biaya yang paling minimal. Penentuan rute yang optimal dilakukan dengan menggunakan

metode Set Partitioning Problem (SPP). SPP memastikan bahwa seluruh rute yang dipilih akan memberikan total biaya yang paling minimal dan seluruh pembangkit dilayani oleh kapal satu kali dalam sebuah rute.

Metode yang ini merupakan modifikasi dari metode yang telah digunakan oleh Fagerholt, 1999, Suprayogi et.al 2001, dan Dinariyana, 2003. Dalam menentukan rute yang optimal, Fagerholt mengaplikasikan metode ini untuk berbagai kapasitas kapal (heterogenous ships) untuk satu kecepatan kapal. Suprayogi menggunakan metode ini untuk untuk menentukan rute yang optimal dan diaplikasikan untuk sistem pengumpulan limbah cair berminyak. Model yang dikembangkan diaplikasikan pada berbagai kapasitas kapal (heterogenous ships) dan kecepatan kapal yang berbeda (various speed). Dinariyana mengaplikasikan metode ini untuk pick-up and delivery pada operasi kapal kontainer. Pada tesis ini, formulasi tersebut dikembangkan untuk diaplikasikan pada distribusi kapal mini LNG dimana pola distribusi sangat dipengaruhi oleh investasi yang ada di terminal penerima. Pada kajian ini, dipertimbangkan beberapa kapasitas kapal mini LNG (heterogenous ship) dan juga mempertimbangkan beberapa variasi kecepatan (various speed). Berikut ini akan diberikan penjelasan untuk masing-masing langkah dari metode yang diusulkan.

3.2.1 Membuat Semua Rute Tunggal yang Layak (*Feasible*)

Pada tahap ini, pendekatan solusi bertujuan untuk menghasilkan semua rute tunggal yang layak dan kapasitas LNG yang diangkut oleh kapal tidak melebihi kapasitas dari kapal. Yang dimaksud dengan *single route* disini adalah dimana kapal hanya melakukan satu kali rute dari pelabuhan awal ke satu atau beberapa pelabuhan lainnya dan kembali ke pelabuhan awal. Ilustrasi dari *single route* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Jika ada lebih dari satu kapasitas kapal yang tersedia, rute tunggal dibuat untuk semua kapasitas kapal. Sangat dimungkinkan jika kapal dapat beroperasi pada kecepatan yang berbeda, sehingga algoritma yang diusulkan memungkinkan untuk menganalisa atau membuat rute tunggal untuk kecepatan yang berbeda. Untuk memastikan bahwa pembangkit listrik dalam rute memiliki urutan kunjungan yang optimal, *Travelling Salesman Problem* (TSP) digunakan pada algoritma ini.



Gambar 3. 3 Ilustrasi dari rute tunggal (*single route*)

Seperti diberikan pada Gambar 3.3, untuk memastikan bahwa rute yang terbentuk adalah rute yang memiliki jarak yang paling pendek, maka TSP digunakan pada metode yang diusulkan. Untuk memverifikasi bahwa sebuah rute yang terdiri dari beberapa pembangkit/ terminal penerima, sebuah *software* TSPGP (*Travelling Salesman Problem Solver and Generator*) digunakan pada tesis ini. TSPGP adalah sebuah solver yang dibuat untuk memecahkan masalah TSP dengan menggunakan metode *Branch-and-Bound*. Tampilan dari *software* TSPGP dapat dilihat pada Gambar 3.4. Terlihat pada gambar ini adalah matriks jarak yang terdiri dari 11 lokasi yang menunjukkan jarak antara satu lokasi dengan lokasi lainnya.

TSP_PDS - TSP Solver and Generator

File Settings Help

Task Solution

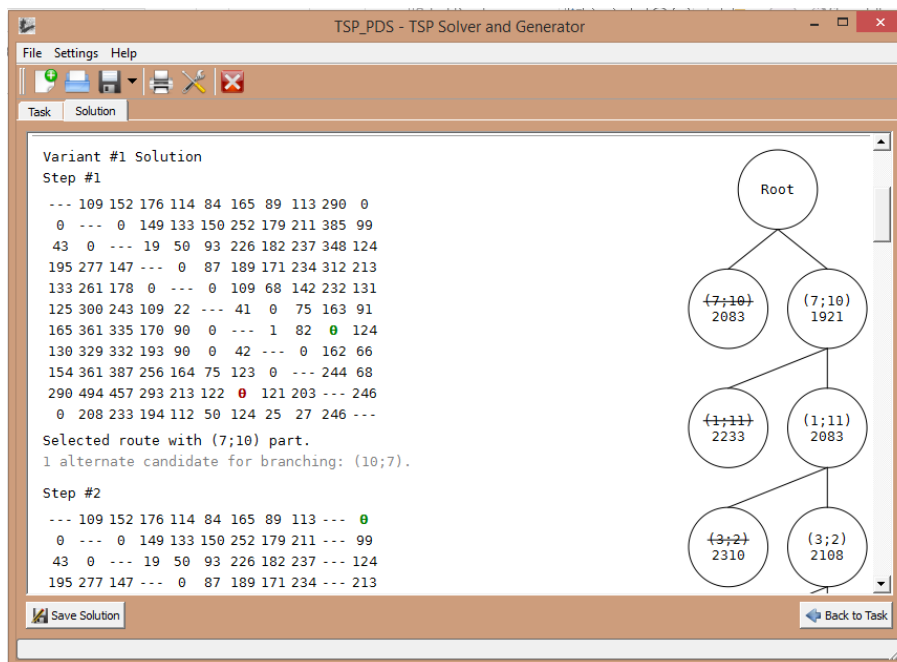
Variant: 1 Cities: 11

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| City 1 | --- | 237 | 360 | 307 | 242 | 212 | 293 | 217 | 309 | 495 | 128 |
| City 2 | 237 | --- | 317 | 389 | 370 | 387 | 489 | 416 | 516 | 699 | 336 |
| City 3 | 360 | 317 | --- | 339 | 367 | 410 | 543 | 499 | 622 | 742 | 441 |
| City 4 | 307 | 389 | 339 | --- | 112 | 199 | 301 | 283 | 414 | 501 | 325 |
| City 5 | 242 | 370 | 367 | 112 | --- | 109 | 218 | 177 | 319 | 418 | 240 |
| City 6 | 212 | 387 | 410 | 199 | 109 | --- | 128 | 87 | 230 | 327 | 178 |
| City 7 | 293 | 489 | 543 | 301 | 218 | 128 | --- | 129 | 278 | 205 | 252 |
| City 8 | 217 | 416 | 499 | 283 | 177 | 87 | 129 | --- | 155 | 326 | 153 |
| City 9 | 309 | 516 | 622 | 414 | 319 | 230 | 278 | 155 | --- | 476 | 223 |
| City 10 | 495 | 699 | 742 | 501 | 418 | 327 | 205 | 326 | 476 | --- | 451 |
| City 11 | 128 | 336 | 441 | 325 | 240 | 178 | 252 | 153 | 223 | 451 | --- |

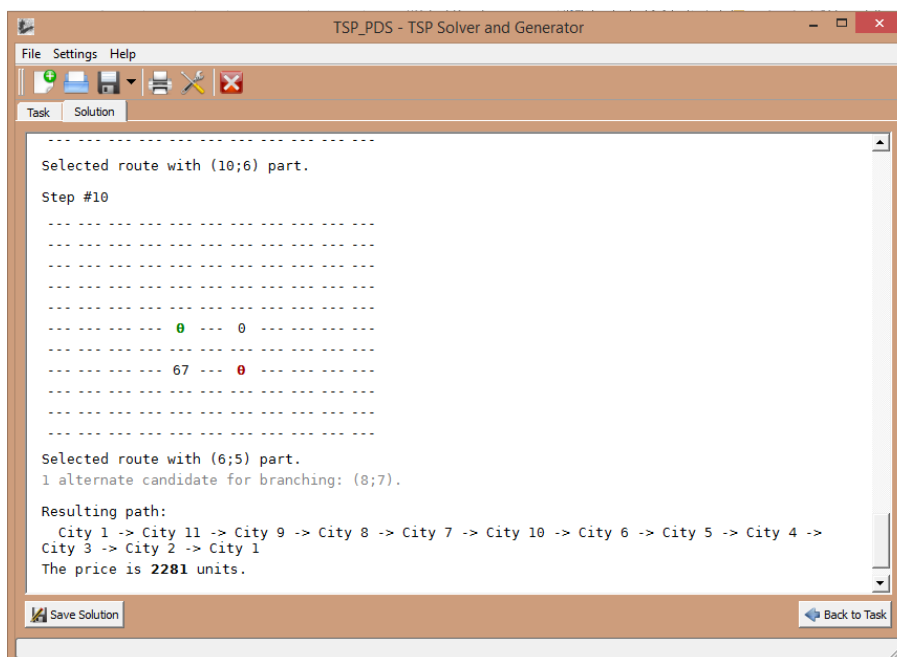
Random Solve

Gambar 3. 4 Tampilan dari Software TSPGP

Gambar 3.5 memperlihatkan tampilan dari bagaimana metode *Branch-and-Bound* bekerja untuk memecahkan problem seperti terlihat pada Gambar 3.4. Sedangkan Gambar 3.6 memperlihatkan jarak terpendek yang dihasilkan oleh TSPGP dengan urutan; 1-2-3-4-5-6-10-7-8-9-11-1 dengan jarak 2281 unit.

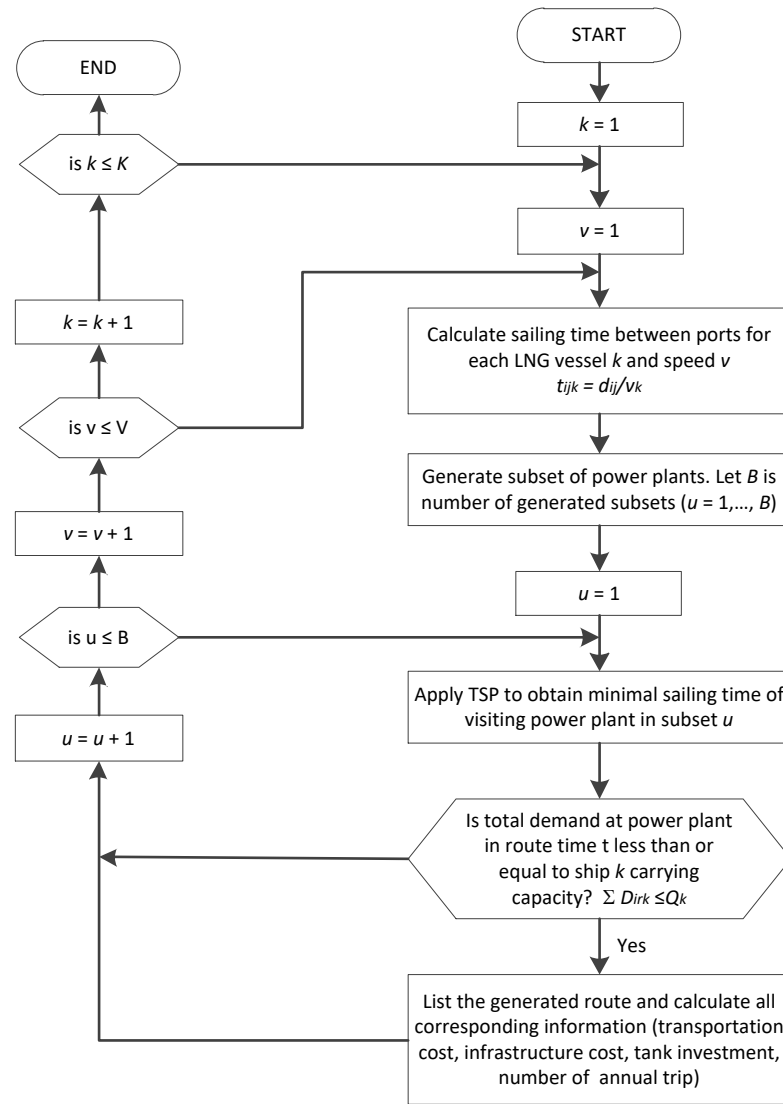


Gambar 3. 5 Tampilan dari Software TSPGP – Branch-and-Bound



Gambar 3. 6 Tampilan dari Software TSPGP – Solusi Terbaik

Prosedur pada langkah pertama yaitu membuat seluruh rute tunggal yang *feasible* dapat dilihat pada Gambar 3.7



Gambar 3. 7 Algoritma pembuatan rute tunggal (*single route*)

Prosedur pada langkah ini dimulai dengan menghitung waktu berlayar antar terminal baik untuk terminal di Makassar yang berfungsi sebagai terminal distribusi ke terminal penerima di pembangkit maupun waktu berlayar antar pembangkit. Waktu berlayar dihitung untuk seluruh kapasitas kapal dan kecepatan kapal. Misalkan d_{ij} jarak antara terminal i ke terminal j , dan v_k adalah kecepatan kapal k ,

maka waktu berlayar antara terminal i ke terminal j menggunakan kapal k dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$t_{ijk} = \frac{d_{ij}}{v_k} \quad (3.1)$$

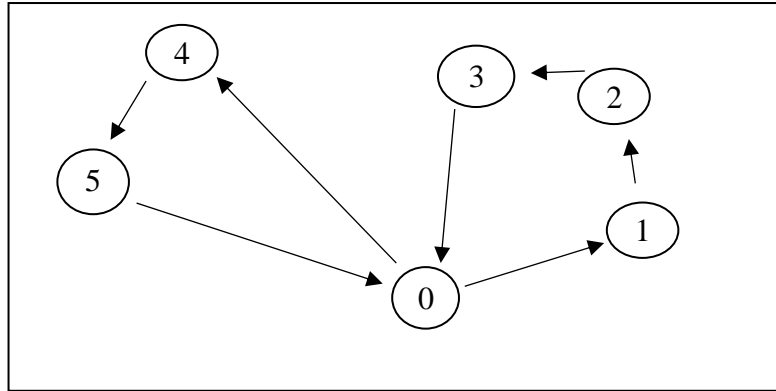
Langkah berikutnya adalah dengan membuat subset yang minimal terdiri dari satu terminal penerima di pembangkit dan maksimal terdiri dari seluruh terminal penerima di pembangkit. Jika B adalah jumlah subset yang dapat dibuat, dan Ω_u adalah himpunan dari subset subsets ($u = 1, \dots, B$), maka kapal k yang digunakan untuk melayani terminal didalam subset sangat dipengaruhi oleh waktu yang tempuh pada sebuah rute dalam subset dan total kebutuhan LNG pada terminal didalam subset. Jika $\sum D_{ir}^k$ adalah kapasitas LNG yang harus didistribusikan ke terminal i pada rute r dengan menggunakan kapal k , dan Q_k adalah kapasitas angkut dari kapal mini LNG, maka persamaan 3.2 digunakan untuk memastikan bahwa kapasitas yang didistribusikan tidak melebihi kapasitas kapal.

$$\sum D_{ir}^k \leq Q_k \quad (3.2)$$

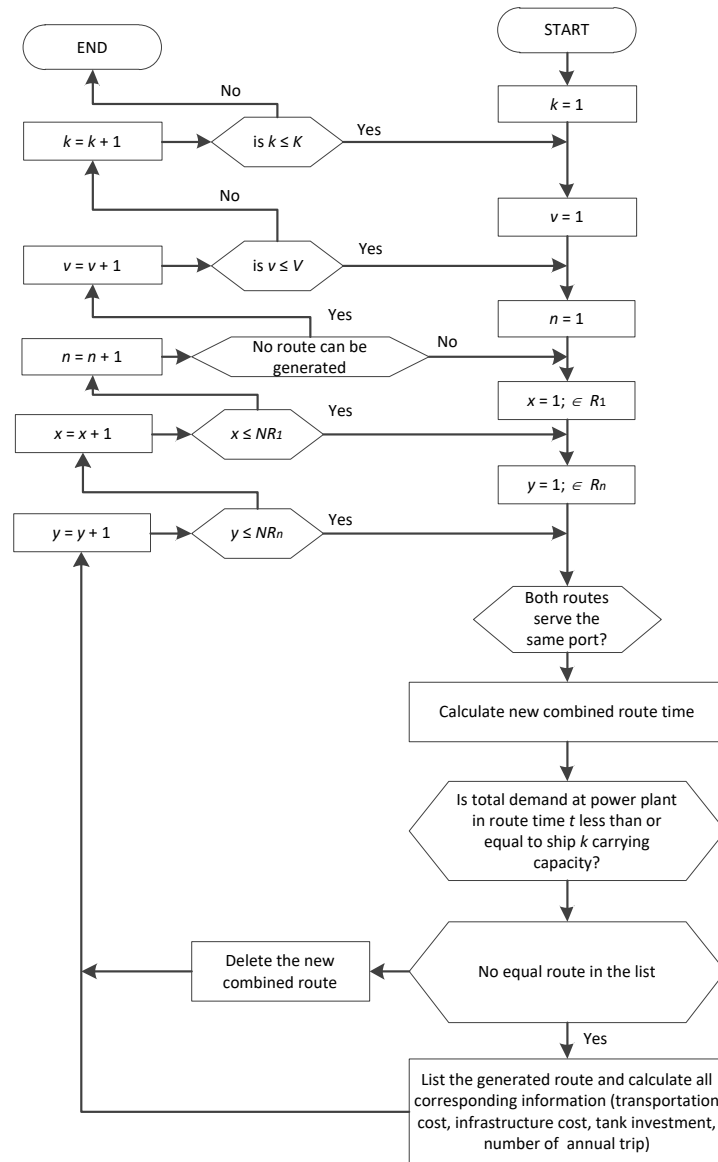
Setelah rute yang dihasilkan (dengan kapal k dan setiap subset u) layak dan total kapasitas yang diangkut pada tiap rute lebih kecil atau sama dengan kapasitas kapal yang digunakan, maka rute yang dihasilkan kemudian ditambahkan sebagai list rute yang *feasible*. Semua informasi yang relevan mengenai rute ini dihitung termasuk waktu berlayar, jumlah trip dalam satu tahun, biaya transportasi, biaya infrastruktur dan investasi tangki di terminal penerima (pembangkit).

3.2.2 Membuat Rute Jamak (Multipel Route)

Pada tahap ini, beberapa rute jamak (multiple route) dibuat/ditentukan dengan mengkombinasikan rute tunggal yang telah dihasilkan pada tahap 1. Ilustrasi dari rute jamak dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan algoritma bagaimana rute jamak tersebut dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.9. Terlihat pada Gambar 3.8 bahwa rute jamak dihasilkan dari mengkombinasikan dua rute tunggal 0-4-5-0 dan 0-1-2-3-0 menjadi rute jamak 0-4-5-0-1-2-3-0.



Gambar 3. 8 Ilustrasi dari rute jamak (multiple route)



Gambar 3. 9 Algoritma pembuatan rute jamak (multiple route)

Seperti dituliskan pada bagian sebelumnya, multiple route dibuat dengan mengkombinasikan dua atau lebih rute tunggal yang dihasilkan dari langkah pertama (membuat rute tunggal). Algoritma memastikan bahwa tidak ada dua rute yang melayani terminal yang sama. Seperti halnya dengan langkah pertama, pada langkah ini harus dipastikan bahwa kapasitas LNG yang ada pada terminal yang dilayani oleh rute jamak tidak melebihi kapasitas dari kapal mini LNG. Multiple route dibuat untuk seluruh rute yang dihasilkan oleh seluruh kapasitas kapal dan kecepatan kapal. Setelah rute jamak dihasilkan layak dimana total kapasitas yang diangkut pada tiap rute lebih kecil atau sama dengan kapasitas kapal yang digunakan, maka rute jamak yang dihasilkan selanjutnya ditambahkan sebagai list rute yang *feasible*. Semua informasi yang relevan mengenai rute ini dihitung termasuk waktu berlayar, jumlah trip dalam satu tahun, biaya transportasi, biaya infrastruktur dan investasi tangki di terminal penerima (pembangkit).

3.2.3 Penentuan Rute yang Optimal dengan Set Partitioning Problem

Penentuan kombinasi rute yang optimal yang berkorelasi dengan penentuan kapasitas kapal mini LNG dan kecepatannya dilakukan dengan menggunakan metode SPP. Jika R_k^v adalah kumpulan dari rute r untuk seluruh kapasitas kapal k dan kecepatan kapal v yang dihasilkan dari langkah pertama (*single route*) dan langkah yang kedua (*multiple route*). N_k^v adalah kumpulan terminal i yang dilayani oleh kapal k yang dioperasikan pada kecepatan v . $C_{TRANSr}^{k,v}$ adalah biaya transportasi yang didalamnya terdiri dari biaya sewa kapal mini LNG dan biaya bahan bakar. Biaya bahan bakar sangat tergantung dari panjang rute dan kecepatan kapal saat beroperasi. $C_{INFr}^{k,v}$ adalah biaya infrastruktur pada terminal penerima/pembangkit yang dilayani oleh route kapal k pada rute r sedangkan $C_{TANKr}^{k,v}$ adalah biaya investasi tangki pada tiap pembangkit pada rute r . Jumlah tangki dan besarnya investasi untuk tangki sangat dipengaruhi oleh seberapa lama round trip yang dilakukan oleh kapal mini LNG. $x_r^{k,v}$ adalah variabel biner yang akan bernilai satu (1) jika rute r terpilih dalam solusi optimal dan bernilai nol (0) jika tidak terpilih dalam optimasi. $A_{ir}^{k,v}$ adalah konstanta yang bernilai satu (1) jika terminal penerima/pembangkit i dilayani oleh rute r dan akan bernilai nol (0) jika sebaliknya.

Berdasarkan notasi yang telah dijelaskan, maka SPP dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\min \sum_{r \in R_k^v} (C_{TRANSr}^{k,v} + C_{INFr}^{k,v} + C_{TANKr}^{k,v}) x_r^{k,v} \quad (3.3)$$

Batasan:

$$\sum_{r \in R_k^v} A_{ir}^{k,v} x_{ir}^{k,v} = 1, \forall i \in N_k^v \quad (3.4)$$

$$A_{ir}^{k,v} = 1 \text{ jika } i \text{ dilayani oleh rute } r, = 0 \text{ jika tidak dilayani}, \forall i \in N_k^v \quad (3.5)$$

Variabel keputusan:

$$x_r^{k,v} = 1 \text{ jika route } r \text{ terpilih}, = 0 \text{ jika tidak terpilih}, \forall r \in R_k^v \quad (3.6)$$

Persamaan (3.3) adalah fungsi objektif dari masalah penentuan rute yang optimal. Adapun fungsi objektif adalah meminimalkan total biaya distribusi LNG dengan menggunakan kapal k untuk melakukan rute r dengan kecepatan v . Batasan (3.4) adalah batasan yang diberikan untuk memastikan bahwa terminal i dilayani oleh kapal k yang dioperasikan pada rute r sekali dalam tiap rute. Persamaan (3.5) adalah konstanta yang akan bernilai satu (1) apabila pembangkit i dilayani oleh kapal k pada rute r dan akan bernilai nol (0) jika pembangkit i tidak dilayani oleh kapal k pada rute r . Persamaan (3.6) adalah variabel keputusan yang akan bernilai satu (1) jika rute r terpilih pada solusi optimal dan akan bernilai nol (0) jika sebaliknya.

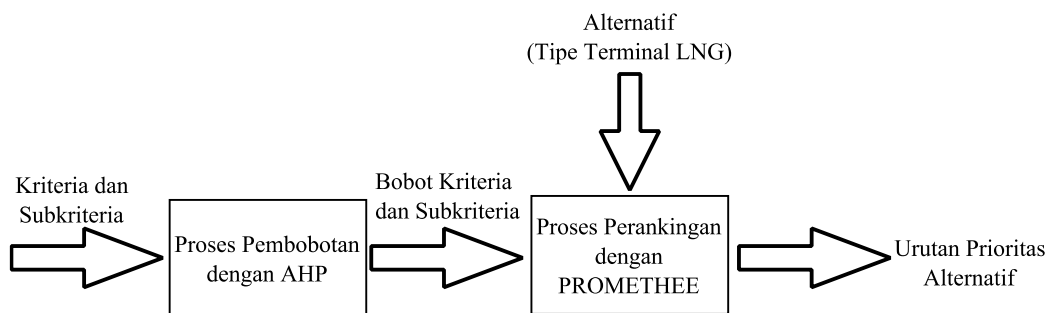
BAB 4

PEMILIHAN TIPE TERMINAL PENERIMA LNG

Pada Bab ini akan dilakukan analisa dan pembahasan terhadap lingkup studi yang pertama yaitu pemilihan tipe terminal penerima LNG di Makassar dengan menggunakan metode AHP dan PROMETHEE

4.1 Pemilihan Tipe Terminal Penerima LNG

Pemilihan tipe terminal penerima LNG akan dilakukan dengan menggunakan gabungan metode MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) yaitu AHP dan PROMETHEE. Menggunakan penelitian Lemantara sebagai referensi, berikut beberapa tahapan untuk melakukan pemilihan yaitu dengan kerangka berpikir seperti pada Gambar 4. 1(Lemantara, Setiawan and Aji, 2013).



Gambar 4. 1 Kerangka Berpikir AHP-PROMETHEE

Pada Gambar 4. 1 menunjukkan bahwa tahapan dimulai dari proses AHP yang menggunakan kriteria dan subkriteria sebagai masukan. Kemudian AHP akan melakukan proses pembobotan terhadap kriteria dan subkriteria tersebut. Bobot yang didapat dari proses AHP digunakan sebagai inputan untuk proses perankingan dengan PROMETHEE. Pada metode PROMETHEE akan dilakukan perankingan terhadap masing-masing alternatif tipe terminal LNG. Dengan proses AHP dan PROMETHEE akan didapatkan prioritas alternatif, sehingga alternatif dapat dipilih sesuai dengan prioritas tersebut.

4.2 Proses Pembobotan dengan Metode AHP

Pada proses pembobotan dengan menggunakan Metode AHP dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu:

1. Data Kriteria Pemilihan Tipe Terminal Penerima LNG

Dalam menetapkan tipe terminal penerima LNG, diperlukan beberapa kriteria yang akan digunakan sebagai parameter penilaian pada masing-masing konsep yang diberikan. Terdapat 5 kriteria yang digunakan dalam menetapkan tipe terminal penerima LNG, yaitu: biaya, teknis, sosial, keselamatan, dan operasional. Dari kriteria yang ditentukan maka dilakukan penentuan subkriteria dari masing-masing kriteria yang sudah ditentukan. Beberapa sub kriteria tersebut, yaitu: Kondisi lingkungan, kemudahan *offloading*, keterujian teknologi, investasi, biaya operasional dan perawatan, waktu pembangunan, keselamatan umum, dampak lingkungan, aksesabilitas, perijinan, dan kemudahan operasional

2. Data Alternatif Tipe Terminal penerima LNG

Untuk dapat melakukan pemilihan, selain menentukan kriteria dan subkriteria, maka melakukan penentuan konsep terminal penerima LNG yang akan dipilih. Berikut merupakan konsep terminal penerima LNG yang akan digunakan, yaitu:

1. FSU (*Floating Storage Unit*) dan *Onshore Regasification*
2. FSRU (*Floating Storage Regasification Unit*)
3. *Onshore LNG terminal*

Ketiga konsep terminal penerima LNG tersebut akan digunakan sebagai alternatif yang akan dipilih untuk diterapkan di Makassar.

3. Penyusunan Hirarki

Informasi mengenai pemilihan tipe terminal penerima LNG seperti kriteria, subkriteria, dan alternatif telah ditetapkan untuk melakukan penyusunan hirarki. Penyusunan hirarki merupakan salah satu tahapan pada metode AHP yang bertujuan untuk menstrukturisasi permasalahan yang ada. Beberapa tingkatan yang digunakan dalam menyusun suatu hirarki dijelaskan pada penjelasan berikut ini:

a. Tingkatan Pertama

Pada tingkatan ini berisi tujuan dari permasalahan yang akan dicapai. Dalam studi ini tujuan yang akan dicapai yaitu melakukan pemilihan terhadap tipe terminal penerima LNG sesuai dengan kriteria dan subkriteria yang sudah ditetapkan sebagai parameter.

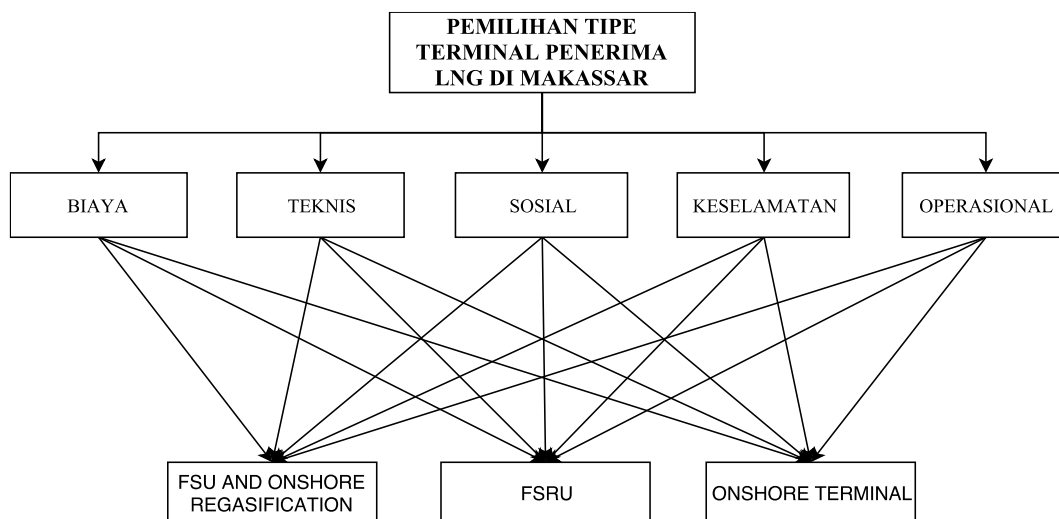
b. Tingkatan Kedua

Pada tingkatan kedua berisi mengenai parameter apa saja yang mempengaruhi dalam mencapai tujuan. Parameter-parameter tersebut berupa kriteria yang digunakan untuk menentukan tipe terminal penerima LNG yang akan diterapkan. Beberapa kriteria tersebut yaitu: biaya, teknis, keselamatan, dan operasional.

c. Tingkatan Ketiga

Tingkatan ketiga ini merupakan tingkatan yang paling akhir dalam proses penyusunan hirarki. Pada tingkatan ini berisi konsep-konsep yang akan digunakan sebagai alternatif dalam pemilihan. Alternatif yang dimaksud yaitu konsep-konsep yang akan diterapkan sebagai terminal penerima LNG di Makassar.

Dengan penjelasan mengenai beberapa tingkatan tersebut, berikut merupakan ilustrasi hirarki yang dapat dilihat pada Gambar 4. 2



Gambar 4. 2 Struktur Hirarki dalam Pemilihan Tipe Terminal Penerima LNG

4. Penentuan Bobot dengan Menggunakan Expert Choice

Dengan mengacu pada hirarki pemilihan yang telah ditentukan, maka dilakukan pembuatan kuisioner. Dengan kuisioner tersebut maka akan diberikan kepada beberapa *expert judgement* untuk melakukan penilaian. Kuisioner disajikan pada lampiran penelitian ini.

Setelah dilakukan penilaian oleh *expert judgement*, maka dengan bantuan *Expert Choice* didapatkan hasil bobot dari setiap kriteria yang dapat dilihat pada Gambar 4. 3 dan pada Tabel 4. 1.



Gambar 4. 3 Hasil pembobotan dengan Metode AHP pada *Expert Choice*

Tabel 4. 1 Hasil Pembobotan Kriteria

| No | Kriteria | Bobot | Persentase |
|----|-------------|-------|------------|
| 1 | Biaya | 0.227 | 23% |
| 2 | Teknis | 0.070 | 7% |
| 3 | Sosial | 0.250 | 25% |
| 4 | Keselamatan | 0.343 | 34% |
| 5 | Operasional | 0.109 | 11% |

4.3 Proses Perankingan dengan Metode PROMETHEE

Dengan melakukan pembobotan menggunakan metode AHP, maka langkah selanjutnya dalam penentuan terminal penerima LNG yaitu dengan melakukan proses perankingan dengan metode PROMETHEE. Beberapa tahap yang harus dilakukan pada proses perankingan ini, yaitu:

1. Pendefinisian Tipe Preferensi dan Parameter

Preferensi berfungsi untuk memberikan gambaran yang lebih baik terhadap area yang tidak sama, digunakan fungsi selisih nilai kriteria antar alternatif $H(d)$ dimana hal ini mempunyai hubungan langsung pada fungsi preferensi (p) dan indifferen (q). Menghitung nilai preferensi p dan q masing-masing alternatif dilakukan perhitungan secara berpasangan satu per satu berdasarkan pilihan bentuk preferensi yang telah ditetapkan sebelumnya (Sudrajat, Rispiana and Novirani, 2013). Untuk kaidah penilaian ditentukan berdasarkan jenis kriteria, misalkan pada kriteria biaya, yang diutamakan adalah nilai yang minimal. Tipe kriteria yang sesuai untuk setiap kriteria didapatkan dengan menggunakan fungsi maksimasi atau minimasi.

Penentuan parameter dan tipe preferensi yang digunakan pada pemilihan tipe terminal penerima LNG di Makassar dapat dilihat pada Tabel 4. 2

Tabel 4. 2 Parameter dan Tipe Preferensi

| No | Kriteria | Tipe Preferensi | Kaidah (Max/Min) | Parameter | |
|----|-------------|-----------------|---------------------|-----------|-----|
| | | | | q | p |
| 1 | Biaya | V | Minimasi | 0.0 | 1.7 |
| 2 | Teknis | V | Maksimasi | 0.0 | 2.0 |
| 3 | Sosial | V | Maksimasi | 0.0 | 2.0 |
| 4 | Keselamatan | V | Maksimasi | 0.0 | 1.5 |
| 5 | Operasional | V | Maksimasi | 0.0 | 1.0 |

2. Perankingan Sebagian dengan PROMETHEE I

Dalam melakukan proses perankingan, ada beberapa tahap perhitungan yang perlu dilakukan, yaitu:

a. Penentuan Nilai Preferensi

Untuk mendapatkan nilai preferensi P dilakukan dengan mengevaluasi nilai deviasi (d) yaitu nilai selisih antara alternatif satu dengan alternatif lainnya terhadap parameter (q dan p). Berikut pada Tabel 4.3 dapat dilihat penilaian masing-masing kriteria terhadap alternatif yang diberikan oleh *expert judgement*.

Tabel 4. 3 Penilaian pada Setiap Kriteria terhadap Alternatif

| | | Alternatif | | |
|----------|-------------|---------------------|-----------|--------------------------|
| | | FSU-ONSHORE (A1) | FSRU (A2) | ONSHORE TERMINAL (A3) |
| Kriteria | Biaya | 3.3 | 4 | 2.3 |
| | Teknis | 3 | 3.7 | 5 |
| | Sosial | 3 | 4 | 3 |
| | Keselamatan | 3.5 | 4 | 2.5 |
| | Operasional | 3 | 4 | 3 |

Dengan mengacu pada Tabel 4.3 maka dapat dilakukan perhitungan nilai preferensi. Sebagai contoh yaitu perhitungan nilai preferensi untuk kriteria biaya pada alternatif A1 (*FSU – Onshore Terminal*) terhadap A2 (FSRU) dengan menggunakan tipe preferensi V dengan formula sebagai berikut:

$$P = \begin{cases} 0, d \leq 0 \\ \frac{d-0}{2-0}, 0 < d \leq 2 \\ 1, d > 2 \end{cases} \quad (4.1)$$

Sebagai contoh nilai kriteria biaya pada A1 terhadap A2 didapatkan selisih nilai $d = 0.7$ sehingga dengan mengikuti formula 23 berada di $0 < d \leq 2$, maka dilakukan perhitungan dengan $\frac{d-0}{2-0}$, didapatkan nilai preferensi sebesar 0.35. Contoh lainnya dengan kriteria yang sama yaitu untuk alternatif A2 terhadap A1 didapatkan selisih nilai $d = -0.7$ sehingga jika mengikuti kaidah pada formula 23 maka didapatkan nilai preferensi untuk kriteria biaya pada A1 terhadap A2 yaitu 0. Perhitungan tersebut dilakukan pada seluruh kriteria terhadap masing-masing perbandingan alternatif sehingga didapatkan ringkasan nilai preferensi yang dapat dilihat pada Tabel 4. 4.

Tabel 4. 4 Ringkasan Nilai Preferensi

| | Biaya | Teknis | Sosial | Keselamatan | Operasional |
|-----------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|
| fi (...,...) | Tipe V | Tipe V | Tipe V | Tipe V | Tipe V |
| A1-A2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| A2-A1 | 0.35 | 0.33 | 0.50 | 0.25 | 0.50 |
| A2-A3 | 0.85 | 0.00 | 0.75 | 0.75 | 0.00 |
| A3-A2 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 |
| A1-A3 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.50 | 0.00 |
| A3-A1 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

b. Perhitungan Indeks Preferensi

Nilai preferensi yang telah didapatkan akan dihitung secara keseluruhan dengan mengalikannya pada bobot dari masing-masing kriteria. Nilai pembobotan ini didapatkan dari hasil proses AHP yang sebelumnya sudah dilakukan. Berikut merupakan contoh perhitungan indeks preferensi untuk alternatif A2 terhadap A1 (A2,A1) dengan menggunakan formula $\pi(a, b) = \sum_{j=1}^k w_j \cdot P_j(a, b)$ (4.2)

$$\begin{aligned} P(A2,A1) &= (0.35 \times 0.23) + (0.33 \times 0.07) + (0.50 \times 0.25) + (0.25 \times 0.34) + \\ &\quad (0.50 \times 0.11) \\ &= 0.37 \end{aligned}$$

Dengan melakukan langkah yang sama seperti contoh perhitungan yang sudah dilakukan, berikut merupakan ringkasan indeks preferensi untuk seluruh kriteria terhadap masing-masing alternatif yang dapat dilihat pada Tabel 4. 5

Tabel 4. 5 Ringkasan Indeks Preferensi

| fi (...,...) | Biaya | Teknis | Sosial | Keselamatan | Operasional | Indeks Preferensi |
|-----------------|--------|--------|--------|-------------|-------------|-------------------|
| | Tipe V | Tipe V | Tipe V | Tipe V | Tipe V | |
| A1-A2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| A2-A1 | 0.35 | 0.33 | 0.50 | 0.25 | 0.50 | 0.37 |
| A2-A3 | 0.85 | 0.00 | 0.75 | 0.75 | 0.00 | 0.64 |
| A3-A2 | 0.50 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.00 | 0.29 |
| A1-A3 | 0.50 | 0.00 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 0.52 |
| A3-A1 | 0.00 | 1.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| Bobot | 0.23 | 0.07 | 0.25 | 0.34 | 0.11 | |

c. Perhitungan Positif dan Negatif Outranking Flow

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan nilai positif dan negatif *outranking flow* untuk mengetahui alternatif terbaik. *Leaving flow* bisa dikatakan sebagai kelebihan (*strength*) dan *entering flow* sebagai kekurangan (*weakness*) dari satu alternatif terhadap alternatif lainnya. Nilai *leaving flow* dan *entering flow* berasal dari perhitungan indeks preferensi yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan untuk *leaving* dan *entering flow* pada alternatif 1 :

Leaving Flow:

$$\phi^+ = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \varphi(a, x)$$

$$\phi^+ = \frac{1}{3-1} \times (0.00 + 0.00 + 0.52)$$

$$\phi^+ = 0.26$$

Entering Flow:

$$\phi^- = \frac{1}{n-1} \sum_{x \in A} \varphi(x, a)$$

$$\phi^- = \frac{1}{3-1} \times (0.00 + 0.00 + 0.07)$$

$$\phi^- = 0.02$$

Dengan melakukan cara perhitungan yang sama, berikut merupakan ringkasan perhitungan untuk *entering flow* dan *leaving flow* yang dapat dilihat pada Tabel 4. 6 berikut:

Tabel 4. 6 Ringkasan nilai *entering flow* dan *leaving flow*

| ALTERNATIF | A1 | A2 | A3 | Leaving Flow |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| A1 | 0.00 | 0.00 | 0.52 | 0.26 |
| A2 | 0.00 | 0.00 | 0.64 | 0.32 |
| A3 | 0.07 | 0.29 | 0.00 | 0.18 |
| Entering Flow | 0.02 | 0.07 | 0.29 | |

3. Perankingan Seluruhnya dengan PROMETHEE II

Pada tahap ini merupakan proses terakhir dari metode PROMETHEE yaitu perankingan seluruhnya dari alternatif yang diberikan yaitu perhitungan *net flow*. Nilai *net flow* berasal dari perhitungan selisih dari nilai *leaving flow* dan *entering flow*. Berikut merupakan contoh perhitungan *net flow* untuk alternative A1:

$$\phi(a) = \phi^+(a) - \phi^-(a)$$

$$\phi(A1) = 0.26 - 0.02$$

$$\phi(A1) = 0.24$$

Dengan melakukan cara perhitungan yang sama, berikut merupakan ringkasan perhitungan untuk *net flow* yang berasal dari perhitungan selisih dari nilai *leaving flow* dan *entering flow* yang dapat dilihat pada Tabel 4. 7 berikut:

Tabel 4. 7 Ringkasan nilai *net flow*

| ALTERNATIF | Leaving Flow | Entering Flow | Net Flow | Ranking |
|-------------------|---------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| A1 | 0.26 | 0.02 | 0.24 | 2 |
| A2 | 0.32 | 0.07 | 0.25 | 1 |
| A3 | 0.18 | 0.29 | -0.11 | 13 |

Dari Tabel 4. 7 dapat diketahui bahwa terminal penerima yang terpilih yaitu alternative A2, alternative dengan menggunakan konsep *Floating Storage Regasification Unit (FSRU)* terpilih untuk diterapkan sebagai terminal penerima LNG di Makassar.

BAB 5

OPTIMASI DISTRIBUSI LNG

5.1 Studi Awal dan Pengumpulan Data

Setelah melakukan proses pemilihan terminal penerima LNG di Makassar yaitu FSRU, maka dilakukan proses optimasi distribusi dari terminal penerima Makassar terhadap beberapa lokasi pembangkit di Indonesia bagian tengah yang sudah ditentukan. Beberapa parameter digunakan pada proses optimasi rute distribusi LNG yaitu: data kapal yang digunakan, harga sewa kapal, data pembangkit, matriks jarak, perhitungan kebutuhan gas setiap pembangkit, komponen biaya dalam optimasi, serta proses optimasi itu sendiri. Pada sub bab ini akan dilakukan pembahasan mengenai tahapan untuk melakukan optimasi rute distribusi untuk LNG di Indonesia bagian Tengah.

5.2.1 Data Lokasi dan Kebutuhan Gas

Tabel 5. 1 Lokasi Terminal Penerima dan Kebutuhan LNG

| No | Lokasi | Koordinat | | Unit (MW) | Gas Demand (MMSCFD) | m ³ LNG/day |
|----|------------------|---------------|----------------|-----------|---------------------|------------------------|
| | | Latitude | Longitude | | | |
| 0 | Makassar | | | | | |
| 1 | Senipah | 6° 7'8.16"S | 120°27'22.52"E | 80 | 8.064 | 129.024 |
| 2 | Kalsel Peaker | 3°29'59.96"S | 114°26'57.38"E | 200 | 20.16 | 322.56 |
| 3 | Lombok Jeranjang | 8°39'42.89"S | 116° 4'22.49"E | 50 | 5.76 | 92.16 |
| 4 | Sumbawa | 8°26'45.50"S | 117°20'8.41"E | 50 | 5.76 | 92.12 |
| 5 | Bima | 8°26'48.54"S | 118°42'56.04"E | 50 | 5.76 | 92.12 |
| 6 | Waingapu | 9°28'37.15"S | 120° 9'16.35"E | 10 | 1.152 | 18.432 |
| 7 | MPP Flores | 8°27'18.31"S | 119°57'8.02"E | 20 | 2.304 | 36.864 |
| 8 | Maumere | 8°37'13.60"S | 122°20'21.50"E | 40 | 4.608 | 73.728 |
| 9 | Kupang Peaker | 10°21'14.15"S | 123°27'34.59"E | 40 | 4.608 | 73.728 |
| 10 | Selayar | 2°24'8.90"S | 116°33'20.56"E | 10 | 1.152 | 18.432 |

Analisa permintaan LNG dilakukan dengan menghitung konsumsi bahan bakar dari setiap pembangkit listrik berdasarkan karakter beban operasinya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pola distribusi LNG yang optimal dari Makassar sebagai terminal penerima, terhadap ke 10 lokasi yang tersebar di Indonesia Bagian Tengah. Kebutuhan gas pada tiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 5.1 sedangkan peta sebaran lokasi 10 pembangkit yang dikaji pada studi ini dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Lokasi kebutuhan gas

Pada studi ini batasan penggunaan moda transportasi untuk proses distribusi LNG terbatas dengan menggunakan kapal. Dengan melihat jarak *receiving terminal* terhadap Sulsel Peaker dan Makassar Peaker, maka kedua pembangkit tersebut akan diabaikan dalam proses distribusi LNG karena dianggap terlalu dekat jika dilakukan dengan menggunakan kapal/ *LNG carrier*. Sehingga terdapat 10 pembangkit yang akan menerima distribusi LNG dari *receiving terminal* yang berada di Makassar.

5.2.2 Data Kapal Mini LNG

Distribusi gas dari terminal penerima LNG di Makassar menuju ke setiap lokasi pembangkit di Indonesia bagian Tengah diasumsikan akan dilakukan dengan menggunakan kapal LNG. Proses distribusi ini direncanakan dengan menggunakan kapal pengangkut LNG dengan ukuran kecil atau disebut *small LNG carrier*. *Small scale LNG carrier* merupakan kapal pengangkut yang mempunyai kapasitas penyimpanan tidak lebih dari 30,000 m³ (International Gas Union, 2015).

Dalam dua sampai dengan tiga tahun terakhir, tidak ditemukan adanya transaksi sewa, pembelian, maupun pembangunan kapal mini LNG baru. Pada studi ini, data kapal diperoleh dengan menggunakan data sekunder dan pendekatan dari beberapa kapal LNG yang beroperasi saat ini.

Beberapa *small scale LNG carrier* sebagai pembanding yang ditampilkan dari Tabel 5.2 yaitu kapal berukuran Pioneer Kutsen (1,100 m³), Shinju Maru (2,500 m³), kapal Coral Methane (7,500 m³), kapal Norgas Conception (10,000 m³), dan kapal Coral Energy (15,600 m³) yang dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5. 2 Kapal pengangkut LNG berukuran kecil

Tabel 5. 2 Data Kapal Mini LNG

| Parameter | Unit | Satuan | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| Jenis Kapal | - | LNG Carrier | | | | |
| Kapasitas | m ³ | 1100 | 2500 | 7500 | 10000 | 15600 |
| LOA | m | 69 | 86.25 | 117.8 | 100 | 151 |
| Breadth | m | 11.83 | 15.1 | 18.6 | 20 | 28 |
| Draft | m | 3.6 | 3.8 | 7.15 | 7.1 | 8 |
| Kecepatan Dinas | Knot | 12.2 | 13 | 14 | 14 | 15 |
| CAPEX | USD | 22,000,000 | 29,583,000 | 56,583,000 | 70,083,000 | 100,000,000 |
| Engine, kW | kW | 1000 | 1676 | 4090 | 5297 | 8000 |
| Harga Sewa | USD/hari | 7800 | 10426 | 19806 | 24496 | 35000 |
| Konsumsi Bahan Bakar (10 knot) | Ton/hari | 3.17 | 5.31 | 12.96 | 16.78 | 25.34 |
| Konsumsi Bahan Bakar (11 knot) | Ton/hari | 3.685125 | 6.172875 | 15.066 | 19.50675 | 29.45775 |
| Konsumsi Bahan Bakar (12 knot) | Ton/hari | 4.22 | 7.08 | 17.28 | 22.37 | 33.79 |
| Konsumsi Bahan Bakar (13 knot) | Ton/hari | 4.604864 | 7.725696 | 18.855936 | 24.410144 | 36.871648 |
| Konsumsi Bahan Bakar (14 knot) | Ton/hari | 5.02 | 8.41 | 20.52 | 26.57 | 40.13 |
| Kapasitas Muat | m ³ | 990 | 2250 | 6750 | 9000 | 14040 |

Dengan melihat Tabel 5.2 dapat diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam melakukan pemilihan *small LNG carrier* untuk proses distribusi LNG di Indonesia bagian Tengah, yaitu:

1. Kapasitas muatan kapal

Kapasitas muatan akan mempengaruhi jumlah LNG yang bisa diangkut dalam sekali distribusi. Semakin besar kapasitas tangki kapal, maka semakin banyak jumlah lokasi yang bisa dikunjungi. Selain itu dengan kapasitas yang besar maka biaya distribusi per satuan volume LNG akan semakin murah. Namun disisi lainnya dengan ukuran muatan yang lebih besar, maka semakin besar pula ukuran kapal dan harga sewa kapal yang lebih mahal.

2. Kecepatan kapal

Pada jarak yang sama, kapal dengan kecepatan lebih tinggi akan memerlukan waktu lebih sedikit untuk melakukan rute namun dengan

mengoperasikan kapal pada kecepatan yang lebih tinggi berdampak pada biaya yang dikeluarkan akibat peningkatan konsumsi bahan bakar. Di lain pihak, dengan waktu rute yang singkat akan menurunkan kebutuhan akan fasilitas penyimpanan LNG di darat. Pada Tabel 5.2 terdapat 5 variasi kecepatan yang digunakan pada studi ini yaitu 10 knot, 11 knot, 12 knot, 13 knot, dan 14 knot.

3. Konsumsi bahan bakar

Data konsumsi bahan bakar akan digunakan dalam perhitungan biaya transportasi selama distribusi LNG dilakukan. Dalam perhitungan biaya transportasi, bahan bakar merupakan salah satu komponen yang dominan mempengaruhi biaya distribusi LNG.

4. Harga sewa kapal

Jumlah kapal LNG berukuran kecil sangat terbatas di dunia, pilihan untuk membangun kapal baru diabaikan dari penelitian ini. Kapal LNG akan disewa dalam kurun waktu tertentu untuk melakukan distribusi LNG di pembangkit. Semakin besar ukuran kapal akan memiliki biaya sewa yang lebih mahal dibandingkan kapal dengan ukuran yang lebih kecil.

5.2.3 Data Matriks Jarak

Dengan mengetahui lokasi distribusi LNG, maka jarak antar pembangkit dapat diketahui. Berikut dapat dilihat pada Gambar 5.3 merupakan matriks jarak untuk setiap lokasi pembangkit di Indonesia Bagian Tengah yang sudah ditentukan.

| Terminal Penerima Makassar | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------|------|---------|--------|------------------|---------|----------|---------------------|---------|---------|
| 360 | Kalsel | | | | | | | | | |
| 212 | 410 | Bima | | | | | | | | |
| 242 | 367 | 109 | Sumbawa | | | | | | | |
| 217 | 499 | 86.2 | 177 | Flores | | | | | | |
| 495 | 742 | 327 | 418 | 326 | Kupang Peaker | | | | | |
| 309 | 622 | 230 | 319 | 155 | 476 | Maumere | | | | |
| 293 | 543 | 128 | 218 | 129 | 205 | 278 | Waingapu | | | |
| 307 | 339 | 199 | 112 | 283 | 501 | 414 | 301 | Lombok Jeranjang | | |
| 237 | 317 | 387 | 370 | 416 | 699 | 516 | 489 | 389 | Senipah | |
| 128 | 441 | 178 | 240 | 153 | 451 | 223 | 252 | 325 | 336 | Selayar |

Gambar 5. 3 Simplified distance matrix of LNG Distribution

5.2.4 Komponen Biaya yang Dipertimbangkan dalam Optimasi

Seperti diberikan pada bagian sebelumnya, pemilihan rute dan kapal dilakukan melalui pertimbangan tiga komponen biaya distribusi diantaranya adalah 1) biaya transportasi yang didalamnya terdapat komponen biaya sewa kapal mini LNG, komponen bahan bakar, dan biaya pelayanan di pelabuhan; 2) biaya infrastruktur di pembangkit LNG; dan 3) biaya investasi penyimpanan LNG yang ada di tiap pembangkit. Ketiga komponen biaya tersebut merupakan komponen-komponen biaya utama yang dipengaruhi oleh perubahan rute distribusi dengan kapal-kapal LNG. Justifikasi bahwa ketiga komponen biaya tersebut memiliki pengaruh terhadap penentuan rute distribusi kapal LNG dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Komponen Biaya Distribusi LNG

| Route | Total Route Time | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Number of Required Tanks | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|------------------------|------------------|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|
| 0-1-0 | 71.40 | 1100 | 122.0 | 2,847,000 | 598,470 | 67,100 | 3,512,570 | 321,518 | 1 | 40,421 | 3,874,510 |
| 0-2-0 | 96.00 | 2500 | 91.0 | 3,805,490 | 1,101,719 | 113,750 | 5,020,959 | 121,183 | 4 | 161,685 | 5,303,827 |
| 0-3-0 | 85.40 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 633,334 | 56,100 | 3,536,434 | 153,511 | 1 | 40,421 | 3,730,367 |
| 0-4-0 | 72.40 | 1100 | 120.0 | 2,847,000 | 599,834 | 66,000 | 3,512,834 | 166,985 | 1 | 40,421 | 3,720,240 |
| 0-5-0 | 66.40 | 1100 | 131.0 | 2,847,000 | 581,627 | 72,050 | 3,500,677 | 189,441 | 1 | 40,421 | 3,730,540 |
| 0-6-0 | 82.60 | 1100 | 106.0 | 2,847,000 | 630,533 | 58,300 | 3,535,833 | 220,880 | 1 | 40,421 | 3,797,135 |
| 0-7-0 | 67.40 | 1100 | 129.0 | 2,847,000 | 584,760 | 70,950 | 3,502,710 | 292,740 | 1 | 40,421 | 3,835,871 |
| 0-8-0 | 85.80 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 637,133 | 56,100 | 3,540,233 | 193,933 | 1 | 40,421 | 3,774,587 |
| 0-9-0 | 123.00 | 1100 | 71.0 | 2,847,000 | 689,440 | 39,050 | 3,575,490 | 175,968 | 1 | 40,421 | 3,791,879 |
| 0-10-0 | 49.60 | 1100 | 176.0 | 2,847,000 | 506,089 | 96,800 | 3,449,889 | 193,933 | 1 | 40,421 | 3,684,243 |
| 0-2-3-4-5-9-0 | 246.20 | 10000 | 35.0 | 3,650,000 | 3,296,001 | 525,000 | 7,471,001 | 1,276,259 | 20 | 808,427 | 9,555,686 |
| 0-2-3-4-5-10-0 | 194.60 | 7500 | 45.0 | 7,229,190 | 2,389,006 | 506,250 | 10,124,446 | 1,181,655 | 14 | 565,899 | 11,871,999 |
| 0-2-3-5-6-7-0 | 209.20 | 7500 | 41.0 | 7,229,190 | 2,404,537 | 461,250 | 10,094,977 | 1,311,901 | 16 | 646,741 | 12,053,619 |
| 0-2-3-5-6-8-0 | 233.30 | 7500 | 37.0 | 7,229,190 | 2,509,418 | 416,250 | 10,154,858 | 1,266,989 | 17 | 687,163 | 12,109,009 |
| 0-2-3-5-6-9-0 | 244.60 | 7500 | 35.0 | 7,229,190 | 2,524,341 | 393,750 | 10,147,281 | 1,231,059 | 18 | 727,584 | 12,105,923 |
| 0-2-3-5-6-10-0 | 212.60 | 7500 | 41.0 | 7,229,190 | 2,457,606 | 461,250 | 10,148,046 | 1,226,567 | 16 | 646,741 | 12,021,355 |
| 0-2-3-6-7-8-0 | 231.30 | 7500 | 37.0 | 7,229,190 | 2,481,246 | 416,250 | 10,126,686 | 1,320,884 | 15 | 606,320 | 12,053,890 |
| 0-1-2-3-4-5-6-9-10-0 | 310.60 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,749,438 | 982,800 | 11,426,238 | 2,550,575 | 30 | 1,212,640 | 15,189,453 |
| 0-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 276.30 | 10000 | 31.0 | 3,650,000 | 2,957,906 | 697,500 | 7,305,406 | 2,261,731 | 26 | 1,050,955 | 10,618,091 |
| 0-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 312.30 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,784,870 | 982,800 | 11,461,670 | 2,373,428 | 29 | 1,172,219 | 15,007,317 |
| 0-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 294.00 | 15600 | 29.0 | 5,694,000 | 4,560,725 | 1,017,900 | 11,272,625 | 2,333,007 | 26 | 1,050,955 | 14,656,586 |
| 0-1-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 307.70 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,497,426 | 1,092,000 | 11,283,426 | 2,960,267 | 32 | 1,293,483 | 15,537,175 |
| 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 343.70 | 15600 | 25.0 | 5,694,000 | 4,685,485 | 975,000 | 11,354,485 | 2,964,759 | 38 | 1,536,011 | 15,855,254 |
| 0-1-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 325.40 | 15600 | 26.0 | 5,694,000 | 4,518,736 | 1,014,000 | 11,226,736 | 2,924,337 | 35 | 1,414,747 | 15,565,820 |
| 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 306.00 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,461,994 | 1,092,000 | 11,247,994 | 2,661,857 | 30 | 1,212,640 | 15,122,491 |

Tabel 5.3 memperlihatkan rute tunggal yang dimungkinkan untuk kapal LNG dari berbagai ukuran dengan kecepatan rata-rata untuk melayani rute adalah 10 knot. Terlihat bahwa semakin sedikit pembangkit yang dilayani oleh kapal mini LNG maka jumlah tangki yang diperlukan untuk penyimpanan LNG yang didistribusikan secara regular oleh kapal akan dapat diminimalkan demikian juga dengan kapasitas kapal. Semakin sedikit jumlah pembangkit yang dilayani maka kapasitas kapal yang dibutuhkan akan semakin kecil. Dilain pihak, jika jumlah pembangkit yang dilayani oleh kapal semakin banyak, maka waktu kapal untuk melakukan rute juga akan semakin besar. Hal ini akan berdampak pada kebutuhan tangki penyimpanan yang semakin banyak. Dengan waktu rute yang semakin lama, kebutuhan kapasitas kapal akan semakin besar. Pada kedua kasus, kapasitas kapal yang berbeda juga berdampak kepada investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan infrastruktur untuk proses unloading LNG di tiap pembangkit. Sebuah ilustrasi terminal penerima LNG dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Secara umum komponen investasi terminal LNG dapat dilihat pada Tabel 5.1. Namun tidak semua komponen biaya tersebut berhubungan langsung dengan desain distribusi kapal LNG seperti komponen regasifikasi hanya akan dipengaruhi oleh *sendout capacity* dalam MMSCFD.



Gambar 5. 4 Ilustrasi infrastruktur *LNG receiving terminal*

Tabel 5. 4 Komponen dalam infrastruktur LNG

| SYSTEM | EQUIPMENT DETAILS |
|-----------------------------------|--|
| LNG TRANSFER SYSTEM | LNG Flexible Hose LNG Metering unit Cryogenic Line Pipe Piping, valve, indicator, insulation, etc. |
| LNG STORAGE SYSTEM | LNG Pump (RU Feeder) Cryogenic Line Pipe Piping, valve, indicator, insulation, etc. |
| REGASIFICATION SYSTEM | LNG Buffer Tank VAPORIZER Heat Exchanger (Steam tube) Gas Heater (steam) BOILER NG-Fired Boiler (Steam Feeder) skid Fresh water tank |
| BOG TREATMENT/ UTILIZATION SYSTEM | BOG Compressor Piping, valve, indicator, insulation, etc. |
| GAS TRANSFER SYSTEM | NG Compressor (booster) Gas Heater (steam) NG Line Pipe Pigging (Launcher and Receiver) NG Metering Unit Piping, valve, indicator, insulation, etc. |
| ELECTRIC GENERATOR | Self-Driven Electric Generator (Diesel) skid |
| BUILDING | Control Room Office Building Parking Area, Muster station, Utilization area, etc. |
| FIRE FIGHTING | Hydrant Fire Alarm, Gas Detector Portable Fire Distinguisher |
| PURGING SYSTEM | Nitrogen Storage Tank Piping, valve, indicator, insulation, etc. |
| MONITORING & CONTROL SYSTEM | Process Control System (PCS), DCS (Hardware & Software) |

Berikut merupakan penjelasan lebih lanjut mengenai komponen biaya sesuai dengan *objective function* yang sudah diberikan yaitu:

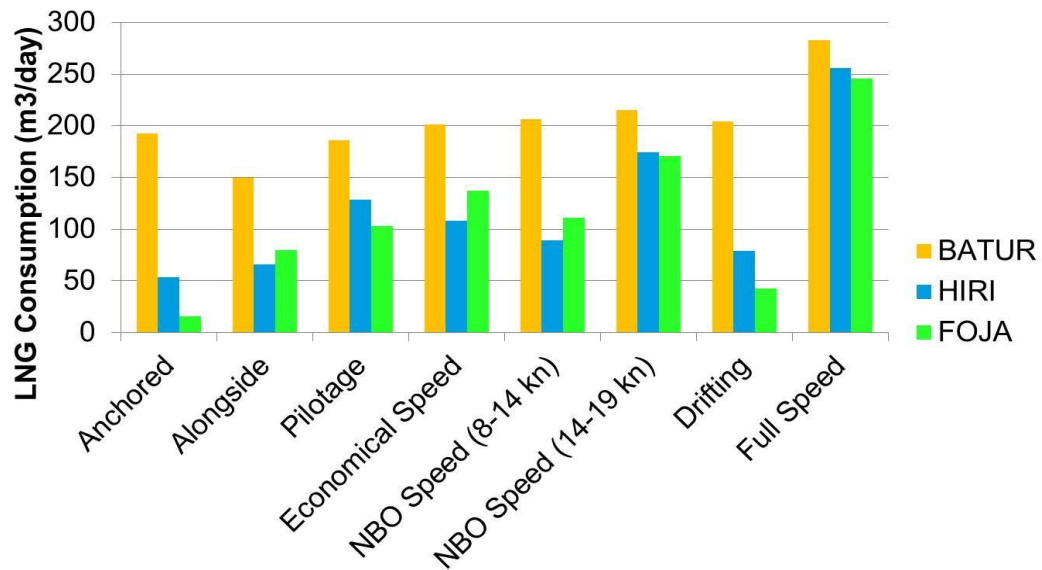
1. Biaya Transportasi

Pada studi ini biaya transportasi terdiri dari tiga komponen biaya yaitu biaya sewa kapal mini LNG, biaya bahan bakar, dan biaya pelayanan di pelabuhan. Biaya sewa kapal per tahunnya menggunakan data sewa mengacu pada nilai sewa per tahun yang terdapat pada Tabel 5.2.

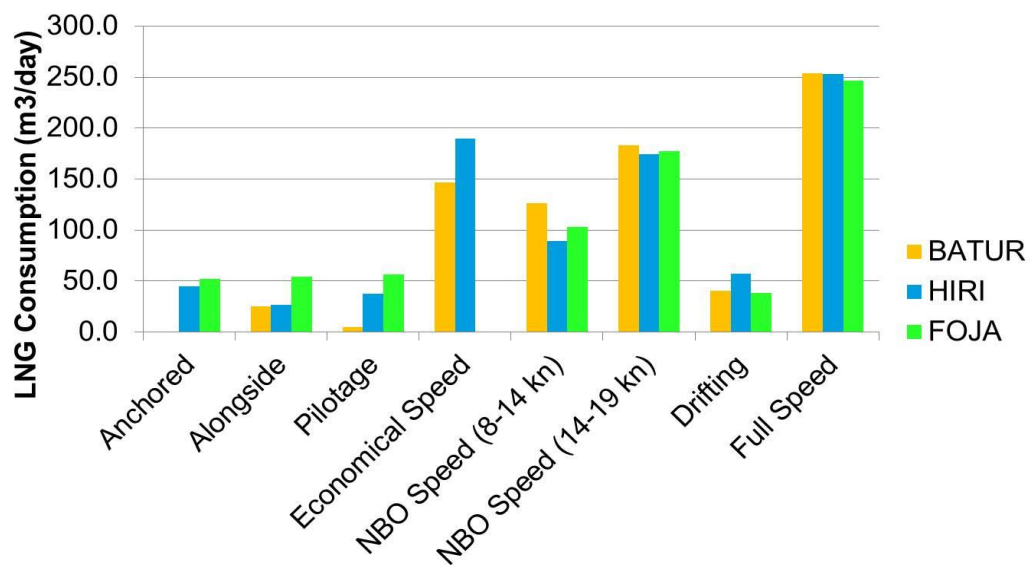
Biaya bahan bakar sangat dipengaruhi oleh moda operasi dan kecepatan dari kapal mini LNG. Sebagai pendekatan dalam menentukan pola operasi (kecepatan) kapal, *voyage report* dari kapal-kapal LNG digunakan pada studi ini (lihat Gambar 5.5). Terdapat beberapa kondisi operasi baik dalam kondisi *full load* maupun *ballast load* pada kapal-kapal LNG diantaranya adalah:

- Operasi saat berlayar
 - *Full speed*
 - *Drifting speed*
 - *Economical speed*
 - NBO speed khusus untuk kapal dengan *dual fuel*
- Operasi saat di pelabuhan
 - *Pilotage*
 - *Alongside*
 - *Anchored*

Gambar 5.6 dan 5.7 memperlihatkan profil konsumsi bahan bakar berturut-turut pada kondisi *full load* dan *ballast*. Mengacu pada data *voyage report* dari 3 kapal LNG selama 3 tahun, konsumsi bahan bakar pada kondisi ballast adalah 88% dari kondisi *full load* dan faktor beban pada saat operasi di pelabuhan adalah 22% dari kondisi *voyage*.



Gambar 5. 6 Profil Konsumsi Bahan Bakar pada Kondisi *Full Load*



Gambar 5. 7 Profil Konsumsi Bahan Bakar pada Kondisi *Ballast*

Biaya pelayanan di pelabuhan umumnya dibebankan kepada pemilik LNG, pada studi ini biaya pelayanan di pelabuhan diasumsikan sebesar 0,25 USD/m³ kapasitas kapal mini LNG.

2. Biaya Pembangunan Infrastruktur (Jetty dan Tangki Penyimpanan LNG)

Biaya pembangunan *jetty* (*trestle* dan *berthing facilities*) merupakan biaya yang dipengaruhi oleh desain distribusi LNG seperti telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Dengan dimungkinkannya LNG untuk didistribusikan dengan menggunakan 5 kapasitas kapal mini LNG yang berbeda, maka panjang *trestle* pada masing-masing ukuran kapal juga akan berbeda sehingga biaya investasi ini akan mempengaruhi dalam pemilihan rute kapal mini LNG. Estimasi panjang *trestle* dilakukan dengan menggunakan data *bathymetry* untuk tiap lokasi pembangkit. Harga untuk tiap m² luasan *trestle* dan *jetty* bervariasi tergantung dari lokasi dimana infrastruktur akan dibangun. Estimasi biaya tiap luasan *trestle* dan *jetty* dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 dimana harga tersebut merupakan estimasi dari data harga di Pulau Jawa yang dikalikan dengan faktor konversi untuk masing-masing daerah.

Pada proses optimasi, total biaya distribusi LNG dihitung berdasarkan total biaya distribusi per tahun, untuk itu biaya per tahun untuk infrastruktur *jetty* dan tangki dihitung dan disetarakan menjadi biaya tahunan dengan pendekatan formula *Equivalent Annual Year (EAC)* sebagai berikut:

$$EAC = \frac{NPV}{A_{t,r}}, \text{ dimana } A_{t,r} = \frac{1 - \frac{1}{(1+r)^t}}{r} \quad (4.3)$$

dimana:

r = annual interest rate

t = number of years

Tangki penyimpanan LNG yang digunakan pada desain distribusi LNG ini diasumsikan menggunakan tangki skid dengan kapasitas untuk masing-masing tangki adalah 400 m³. Dengan asumsi untuk tiap m³ LNG adalah USD 200, maka harga satu unit tangki yang digunakan pada studi ini adalah USD 800.000.

Tabel 5. 5 Estimasi Biaya Pembangunan *Jetty* untuk Masing-Masing Kapal dan Lokasi Pembangkit

| No. | Lokasi Pembangkit | Ship Cap (m ³) | Panjang Trestle (km) | Panjang Trestle (m) | LOB | Total | Total m ² | Biaya per m2 | Estimasi Biaya | | EAC (\$/yr) |
|-----|-------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|--------|--------|----------------------|----------------|------------------------|------------------|---------------|
| T1 | Senipah | 1100 | 0.12 | 115.0 | 75.90 | 190.90 | 1145.40 | IDR 75,000,000 | IDR 85,905,000,000.00 | \$ 6,363,333.33 | \$ 321,517.99 |
| | | 2500 | 0.12 | 115.0 | 94.88 | 209.88 | 1259.25 | IDR 75,000,000 | IDR 94,443,750,000.00 | \$ 6,995,833.33 | \$ 353,476.10 |
| | | 7500 | 0.19 | 185.0 | 129.58 | 314.58 | 1887.48 | IDR 75,000,000 | IDR 141,561,000,000.00 | \$ 10,486,000.00 | \$ 529,822.57 |
| | | 10000 | 0.19 | 185.0 | 150.70 | 335.70 | 2014.20 | IDR 75,000,000 | IDR 151,065,000,000.00 | \$ 11,190,000.00 | \$ 565,393.34 |
| | | 15600 | 0.19 | 185.0 | 166.10 | 351.10 | 2106.60 | IDR 75,000,000 | IDR 157,995,000,000.00 | \$ 11,703,333.33 | \$ 591,330.36 |
| T2 | Kalsel | 1100 | 0.09 | 85.0 | 75.90 | 160.90 | 965.40 | IDR 30,000,000 | IDR 28,962,000,000.00 | \$ 2,145,333.33 | \$ 108,396.53 |
| | | 2500 | 0.09 | 85.0 | 94.88 | 179.88 | 1079.28 | IDR 30,000,000 | IDR 32,378,400,000.00 | \$ 2,398,400.00 | \$ 121,183.15 |
| | | 7500 | 0.10 | 100.0 | 129.58 | 229.58 | 1377.48 | IDR 30,000,000 | IDR 41,324,400,000.00 | \$ 3,061,066.67 | \$ 154,665.48 |
| | | 10000 | 0.10 | 100.0 | 150.70 | 250.70 | 1504.20 | IDR 30,000,000 | IDR 45,126,000,000.00 | \$ 3,342,666.67 | \$ 168,893.79 |
| | | 15600 | 0.10 | 100.0 | 166.10 | 266.10 | 1596.60 | IDR 30,000,000 | IDR 47,898,000,000.00 | \$ 3,548,000.00 | \$ 179,268.60 |
| T3 | Lombok Jeranjang | 1100 | 0.10 | 95.0 | 75.90 | 170.90 | 1025.40 | IDR 40,000,000 | IDR 41,016,000,000.00 | \$ 3,038,222.22 | \$ 153,511.23 |
| | | 2500 | 0.10 | 95.0 | 94.88 | 189.88 | 1139.28 | IDR 40,000,000 | IDR 45,571,200,000.00 | \$ 3,375,644.44 | \$ 170,560.04 |
| | | 7500 | 0.13 | 130.0 | 129.58 | 259.58 | 1557.48 | IDR 40,000,000 | IDR 62,299,200,000.00 | \$ 4,614,755.56 | \$ 233,168.19 |
| | | 10000 | 0.13 | 130.0 | 150.70 | 280.70 | 1684.20 | IDR 40,000,000 | IDR 67,368,000,000.00 | \$ 4,990,222.22 | \$ 252,139.27 |
| | | 15600 | 0.13 | 130.0 | 166.10 | 296.10 | 1776.60 | IDR 40,000,000 | IDR 71,064,000,000.00 | \$ 5,264,000.00 | \$ 265,972.35 |
| T4 | Sumbawa | 1100 | 0.11 | 110.0 | 75.90 | 185.90 | 1115.40 | IDR 40,000,000 | IDR 44,616,000,000.00 | \$ 3,304,888.89 | \$ 166,985.00 |
| | | 2500 | 0.11 | 110.0 | 94.88 | 204.88 | 1229.28 | IDR 40,000,000 | IDR 49,171,200,000.00 | \$ 3,642,311.11 | \$ 184,033.82 |
| | | 7500 | 0.15 | 150.0 | 129.58 | 279.58 | 1677.48 | IDR 40,000,000 | IDR 67,099,200,000.00 | \$ 4,970,311.11 | \$ 251,133.23 |
| | | 10000 | 0.15 | 150.0 | 150.70 | 300.70 | 1804.20 | IDR 40,000,000 | IDR 72,168,000,000.00 | \$ 5,345,777.78 | \$ 270,104.31 |
| | | 15600 | 0.15 | 150.0 | 166.10 | 316.10 | 1896.60 | IDR 40,000,000 | IDR 75,864,000,000.00 | \$ 5,619,555.56 | \$ 283,937.38 |
| T5 | Bima | 1100 | 0.14 | 135.0 | 75.90 | 210.90 | 1265.40 | IDR 40,000,000 | IDR 50,616,000,000.00 | \$ 3,749,333.33 | \$ 189,441.30 |
| | | 2500 | 0.14 | 135.0 | 94.88 | 229.88 | 1379.28 | IDR 40,000,000 | IDR 55,171,200,000.00 | \$ 4,086,755.56 | \$ 206,490.12 |
| | | 7500 | 0.19 | 190.0 | 129.58 | 319.58 | 1917.48 | IDR 40,000,000 | IDR 76,699,200,000.00 | \$ 5,681,422.22 | \$ 287,063.30 |
| | | 10000 | 0.19 | 190.0 | 150.70 | 340.70 | 2044.20 | IDR 40,000,000 | IDR 81,768,000,000.00 | \$ 6,056,888.89 | \$ 306,034.38 |
| | | 15600 | 0.19 | 190.0 | 166.10 | 356.10 | 2136.60 | IDR 40,000,000 | IDR 85,464,000,000.00 | \$ 6,330,666.67 | \$ 319,867.45 |

Tabel 5. 6 Estimasi Biaya Pembangunan Jetty untuk Masing-Masing Kapal dan Lokasi Pembangkit (lanjutan)

| No. | Lokasi Pembangkit | Ship Cap (m ³) | Panjang Trestle (km) | Panjang Trestle (m) | LOB | Total | Total m ² | Biaya per m2 | Estimasi Biaya | | EAC (\$/yr) |
|-----|-------------------|----------------------------|----------------------|---------------------|--------|--------|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------|---------------|
| T6 | Waingapu | 1100 | 0.17 | 170.0 | 75.90 | 245.90 | 1475.40 | IDR 40,000,000 | IDR 59,016,000,000.00 | \$ 4,371,555.56 | \$ 220,880.11 |
| | | 2500 | 0.17 | 170.0 | 94.88 | 264.88 | 1589.28 | IDR 40,000,000 | IDR 63,571,200,000.00 | \$ 4,708,977.78 | \$ 237,928.93 |
| | | 7500 | 0.20 | 200.0 | 129.58 | 329.58 | 1977.48 | IDR 40,000,000 | IDR 79,099,200,000.00 | \$ 5,859,200.00 | \$ 296,045.82 |
| | | 10000 | 0.20 | 200.0 | 150.70 | 350.70 | 2104.20 | IDR 40,000,000 | IDR 84,168,000,000.00 | \$ 6,234,666.67 | \$ 315,016.89 |
| | | 15600 | 0.20 | 200.0 | 166.10 | 366.10 | 2196.60 | IDR 40,000,000 | IDR 87,864,000,000.00 | \$ 6,508,444.44 | \$ 328,849.97 |
| T7 | MPP Flores | 1100 | 0.25 | 250.0 | 75.90 | 325.90 | 1955.40 | IDR 40,000,000 | IDR 78,216,000,000.00 | \$ 5,793,777.78 | \$ 292,740.25 |
| | | 2500 | 0.25 | 250.0 | 94.88 | 344.88 | 2069.28 | IDR 40,000,000 | IDR 82,771,200,000.00 | \$ 6,131,200.00 | \$ 309,789.07 |
| | | 7500 | 0.25 | 250.0 | 129.58 | 379.58 | 2277.48 | IDR 40,000,000 | IDR 91,099,200,000.00 | \$ 6,748,088.89 | \$ 340,958.40 |
| | | 10000 | 0.25 | 250.0 | 150.70 | 400.70 | 2404.20 | IDR 40,000,000 | IDR 96,168,000,000.00 | \$ 7,123,555.56 | \$ 359,929.48 |
| | | 15600 | 0.25 | 250.0 | 166.10 | 416.10 | 2496.60 | IDR 40,000,000 | IDR 99,864,000,000.00 | \$ 7,397,333.33 | \$ 373,762.56 |
| T8 | Maumere | 1100 | 0.14 | 140.0 | 75.90 | 215.90 | 1295.40 | IDR 40,000,000 | IDR 51,816,000,000.00 | \$ 3,838,222.22 | \$ 193,932.56 |
| | | 2500 | 0.18 | 180.0 | 94.88 | 274.88 | 1649.28 | IDR 40,000,000 | IDR 65,971,200,000.00 | \$ 4,886,755.56 | \$ 246,911.44 |
| | | 7500 | 0.20 | 200.0 | 129.58 | 329.58 | 1977.48 | IDR 40,000,000 | IDR 79,099,200,000.00 | \$ 5,859,200.00 | \$ 296,045.82 |
| | | 10000 | 0.20 | 200.0 | 150.70 | 350.70 | 2104.20 | IDR 40,000,000 | IDR 84,168,000,000.00 | \$ 6,234,666.67 | \$ 315,016.89 |
| | | 15600 | 0.20 | 200.0 | 166.10 | 366.10 | 2196.60 | IDR 40,000,000 | IDR 87,864,000,000.00 | \$ 6,508,444.44 | \$ 328,849.97 |
| T9 | Kupang Peaker | 1100 | 0.12 | 120.0 | 75.90 | 195.90 | 1175.40 | IDR 40,000,000 | IDR 47,016,000,000.00 | \$ 3,482,666.67 | \$ 175,967.52 |
| | | 2500 | 0.13 | 130.0 | 94.88 | 224.88 | 1349.28 | IDR 40,000,000 | IDR 53,971,200,000.00 | \$ 3,997,866.67 | \$ 201,998.86 |
| | | 7500 | 0.16 | 160.0 | 129.58 | 289.58 | 1737.48 | IDR 40,000,000 | IDR 69,499,200,000.00 | \$ 5,148,088.89 | \$ 260,115.75 |
| | | 10000 | 0.16 | 160.0 | 150.70 | 310.70 | 1864.20 | IDR 40,000,000 | IDR 74,568,000,000.00 | \$ 5,523,555.56 | \$ 279,086.82 |
| | | 15600 | 0.16 | 160.0 | 166.10 | 326.10 | 1956.60 | IDR 40,000,000 | IDR 78,264,000,000.00 | \$ 5,797,333.33 | \$ 292,919.90 |
| T10 | Selayar | 1100 | 0.14 | 140.0 | 75.90 | 215.90 | 1295.40 | IDR 40,000,000 | IDR 51,816,000,000.00 | \$ 3,838,222.22 | \$ 193,932.56 |
| | | 2500 | 0.14 | 140.0 | 94.88 | 234.88 | 1409.28 | IDR 40,000,000 | IDR 56,371,200,000.00 | \$ 4,175,644.44 | \$ 210,981.37 |
| | | 7500 | 0.16 | 155.0 | 129.58 | 284.58 | 1707.48 | IDR 40,000,000 | IDR 68,299,200,000.00 | \$ 5,059,200.00 | \$ 255,624.49 |
| | | 10000 | 0.16 | 155.0 | 150.70 | 305.70 | 1834.20 | IDR 40,000,000 | IDR 73,368,000,000.00 | \$ 5,434,666.67 | \$ 274,595.56 |
| | | 15600 | 0.16 | 155.0 | 166.10 | 321.10 | 1926.60 | IDR 40,000,000 | IDR 77,064,000,000.00 | \$ 5,708,444.44 | \$ 288,428.64 |

5.2 Hasil Optimasi Distribusi LNG di Wilayah Indonesia Bagian Tengah

Pada bagian ini akan dibahas tentang hasil dari metode yang diusulkan dalam penentuan pola distribusi kapal-kapal mini LNG dari satu hub terminal di Makassar ke 10 lokasi pembangkit yang tersebar di Wilayah Indonesia Bagian Tengah. Seperti dijelaskan pada Sub Bab 5.1, terdapat 5 alternatif kapal mini LNG (*heterogenous ships*) yang dipertimbangkan pada studi ini yaitu 1100 m³, 2500 m³, 7500 m³, 10.000 m³, dan 15600 m³. Pada studi ini, 5 skenario kecepatan yaitu 10 knot, 11 knot, 12 knot, 13 knot, dan 14 knot (*various speed*) dipertimbangkan dalam pemilihan rute distribusi. Dengan demikian kajian ini dapat dikategorikan ke dalam “*Ship Routing Problem for Heterogenous Ships and Various Speed in a Hub and Spokes Environment*”. Pada bagian berikut akan diberikan hasil dari tiap langkah dari metode yang diusulkan pada tesis ini.

5.2.1 Tahap 1: Penentuan Rute Tunggal (*Single Route*)

Seperti dijelaskan pada metodologi, pada tahap ini, pendekatan solusi bertujuan untuk menghasilkan semua rute tunggal yang layak selama kapasitas LNG yang didistribusikan ke pembangkit-pembangkit tidak melebihi kapasitas dari kapal. Berdasarkan data kebutuhan LNG untuk tiap pembangkit, data kapal, dan data biaya infrastruktur yang telah diberikan sebelumnya, Tabel 5.7 memperlihatkan sebagian dari rute untuk kecepatan kapal 10 knot sedangkan Tabel 5.8 memperlihatkan sebagian rute untuk kecepatan kapal 14 knot. Waktu pelayanan di pelabuhan diasumsikan sama yaitu 12 jam.

Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 memperlihatkan rute tunggal yang dimungkinkan untuk kapal LNG dari berbagai ukuran. Seperti hipotesa awal pada studi ini, terlihat bahwa semakin sedikit pembangkit yang dilayani oleh kapal mini LNG, maka jumlah tangki yang diperlukan untuk penyimpanan LNG yang didistribusikan secara regular oleh kapal akan dapat diminimalkan. Dengan waktu rute yang semakin lama, kebutuhan kapasitas kapal akan semakin besar demikian pula dengan infrastruktur dan investasi tangki yang dibutuhkan. Pada penentuan rute ini, tangki yang dipertimbangkan hanya tangki yang digunakan untuk menampung jumlah LNG yang didistribusikan secara regular. Tangki yang disediakan untuk *safety stock* tidak dipertimbangkan dalam penentuan rute ini.

Tabel 5. 7 Sebagian Rute Tunggal (*Single Route*) pada Kecepatan Kapal 10 knot

| No | Route | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route Time @ 10 knot | Total Route Time | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|-----|------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| 1 | 0-1-0 | 24 | 474 | 47.40 | 71.40 | 383.85 | 1100 | 122.0 | 2,847,000 | 598,470 | 67,100 | 3,512,570 | 321,518 | 40,421 | 3,874,510 |
| 2 | 0-2-0 | 24 | 720 | 72.00 | 96.00 | 1,290.24 | 2500 | 91.0 | 3,805,490 | 1,101,719 | 113,750 | 5,020,959 | 121,183 | 161,685 | 5,303,827 |
| 3 | 0-3-0 | 24 | 614 | 61.40 | 85.40 | 327.94 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 633,334 | 56,100 | 3,536,434 | 153,511 | 40,421 | 3,730,367 |
| 4 | 0-4-0 | 24 | 484 | 48.40 | 72.40 | 277.90 | 1100 | 120.0 | 2,847,000 | 599,834 | 66,000 | 3,512,834 | 166,985 | 40,421 | 3,720,240 |
| 5 | 0-5-0 | 24 | 424 | 42.40 | 66.40 | 254.87 | 1100 | 131.0 | 2,847,000 | 581,627 | 72,050 | 3,500,677 | 189,441 | 40,421 | 3,730,540 |
| 6 | 0-6-0 | 24 | 586 | 58.60 | 82.60 | 63.44 | 1100 | 106.0 | 2,847,000 | 630,533 | 58,300 | 3,535,833 | 220,880 | 40,421 | 3,797,135 |
| 7 | 0-7-0 | 24 | 434 | 43.40 | 67.40 | 103.53 | 1100 | 129.0 | 2,847,000 | 584,760 | 70,950 | 3,502,710 | 292,740 | 40,421 | 3,835,871 |
| 24 | 0-3-10-0 | 36 | 760 | 76.00 | 112.00 | 516.10 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 609,533 | 64,350 | 3,520,883 | 347,444 | 121,264 | 3,989,591 |
| 25 | 0-4-5-0 | 36 | 563 | 56.30 | 92.30 | 708.56 | 1100 | 94.0 | 2,847,000 | 562,128 | 77,550 | 3,486,678 | 356,426 | 80,843 | 3,923,947 |
| 26 | 0-4-6-0 | 36 | 753 | 75.30 | 111.30 | 512.68 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 604,449 | 64,350 | 3,515,799 | 387,865 | 121,264 | 4,024,928 |
| 27 | 0-4-7-0 | 36 | 636 | 63.60 | 99.60 | 535.28 | 1100 | 87.0 | 2,847,000 | 579,407 | 71,775 | 3,498,182 | 459,725 | 80,843 | 4,038,750 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 48 | 1176 | 117.60 | 165.60 | 3,751.56 | 7500 | 52.0 | 7,229,190 | 2,550,450 | 390,000 | 10,169,640 | 971,551 | 444,635 | 11,585,826 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 48 | 1390 | 139.00 | 187.00 | 3,662.21 | 7500 | 46.0 | 7,229,190 | 2,630,929 | 345,000 | 10,205,119 | 980,534 | 444,635 | 11,630,287 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 48 | 1123 | 112.30 | 160.30 | 3,139.32 | 7500 | 54.0 | 7,229,190 | 2,539,588 | 405,000 | 10,173,778 | 940,113 | 404,213 | 11,518,104 |
| 79 | 0-1-2-3-6-0 | 60 | 1487 | 148.70 | 208.70 | 4,888.59 | 7500 | 41.0 | 7,229,190 | 2,540,200 | 384,375 | 10,153,765 | 1,213,702 | 606,320 | 11,973,787 |
| 80 | 0-1-2-3-7-0 | 60 | 1393 | 139.30 | 199.30 | 4,821.47 | 7500 | 43.0 | 7,229,190 | 2,510,233 | 403,125 | 10,142,548 | 1,258,615 | 525,477 | 11,926,640 |
| 81 | 0-1-2-3-8-0 | 60 | 1616 | 161.60 | 221.60 | 5,701.32 | 7500 | 39.0 | 7,229,190 | 2,607,818 | 365,625 | 10,202,633 | 1,213,702 | 646,741 | 12,063,076 |
| 82 | 0-1-2-3-9-0 | 60 | 1889 | 188.90 | 248.90 | 6,403.70 | 7500 | 35.0 | 7,229,190 | 2,704,108 | 328,125 | 10,261,423 | 1,177,772 | 727,584 | 12,166,779 |
| 83 | 0-1-2-3-10-0 | 60 | 1346 | 134.60 | 194.60 | 4,558.31 | 7500 | 45.0 | 7,229,190 | 2,546,470 | 421,875 | 10,197,535 | 1,173,281 | 525,477 | 11,896,293 |
| 84 | 0-2-3-4-5-0 | 60 | 1132 | 113.20 | 173.20 | 4,322.49 | 7500 | 50.0 | 7,229,190 | 2,422,062 | 468,750 | 10,120,002 | 926,030 | 485,056 | 11,531,088 |
| 85 | 0-2-3-4-6-0 | 60 | 1322 | 132.20 | 192.20 | 4,206.55 | 7500 | 45.0 | 7,229,190 | 2,505,354 | 421,875 | 10,156,419 | 935,013 | 485,056 | 11,576,488 |
| 86 | 0-2-3-4-7-0 | 60 | 1205 | 120.50 | 180.50 | 4,089.11 | 7500 | 48.0 | 7,229,190 | 2,458,577 | 450,000 | 10,137,767 | 979,925 | 485,056 | 11,602,748 |
| 87 | 0-2-3-4-8-0 | 60 | 1439 | 143.90 | 203.90 | 4,932.41 | 7500 | 42.0 | 7,229,190 | 2,525,407 | 393,750 | 10,148,347 | 935,013 | 525,477 | 11,608,837 |
| 88 | 0-2-3-4-9-0 | 60 | 1724 | 172.40 | 232.40 | 5,621.83 | 7500 | 37.0 | 7,229,190 | 2,626,211 | 346,875 | 10,202,276 | 899,083 | 646,741 | 11,748,100 |
| 261 | 0-1-4-5-6-7-8-10-0 | 96 | 1479 | 147.90 | 243.90 | 4,682.07 | 7500 | 35.0 | 7,229,190 | 2,270,070 | 525,000 | 10,024,260 | 2,256,694 | 606,320 | 12,887,273 |
| 262 | 0-1-4-5-6-9-7-10-0 | 96 | 1656 | 165.60 | 261.60 | 5,021.85 | 7500 | 33.0 | 7,229,190 | 2,362,718 | 495,000 | 10,086,908 | 2,220,764 | 687,163 | 12,994,834 |
| 263 | 0-1-5-6-9-7-8-10-0 | 96 | 1789 | 178.90 | 274.90 | 5,066.50 | 7500 | 31.0 | 7,229,190 | 2,376,486 | 465,000 | 10,070,676 | 2,265,676 | 687,163 | 13,023,514 |
| 264 | 0-2-3-4-5-6-7-8-0 | 96 | 1641 | 164.10 | 260.10 | 7,889.53 | 10000 | 33.0 | 3,650,000 | 3,034,737 | 660,000 | 7,344,737 | 1,987,135 | 889,269 | 10,221,142 |
| 265 | 0-2-3-4-5-6-7-10-0 | 96 | 1458 | 145.80 | 241.80 | 6,777.33 | 10000 | 36.0 | 3,650,000 | 2,985,892 | 720,000 | 7,355,892 | 1,946,714 | 848,848 | 10,151,454 |
| 287 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 108 | 2043 | 204.30 | 312.30 | 10,432.28 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,784,870 | 982,800 | 11,461,670 | 2,373,428 | 1,172,219 | 15,007,317 |
| 288 | 0-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 108 | 1860 | 186.00 | 294.00 | 9,143.60 | 15600 | 29.0 | 5,694,000 | 4,560,725 | 1,017,900 | 11,272,625 | 2,333,007 | 1,050,955 | 14,656,586 |
| 289 | 0-1-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 120 | 1877 | 187.70 | 307.70 | 11,223.87 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,497,426 | 1,092,000 | 11,283,426 | 2,960,267 | 1,293,483 | 15,537,175 |
| 290 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 120 | 2237 | 223.70 | 343.70 | 13,328.92 | 15600 | 25.0 | 5,694,000 | 4,685,485 | 975,000 | 11,354,485 | 2,964,759 | 1,536,011 | 15,855,254 |
| 291 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 120 | 2054 | 205.40 | 325.40 | 11,869.51 | 15600 | 26.0 | 5,694,000 | 4,518,736 | 1,014,000 | 11,226,736 | 2,924,337 | 1,414,747 | 15,565,820 |
| 292 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 120 | 1860 | 186.00 | 306.00 | 10,456.84 | 15600 | 28.0 | 5,694,000 | 4,461,994 | 1,092,000 | 11,247,994 | 2,661,857 | 1,212,640 | 15,122,491 |

Tabel 5. 8 Sebagian Rute Tunggal (*Single Route*) pada Kecepatan Kapal 14 knot

| No | Route | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route time @ 14 knot | Total Route Time | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|-----|--------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| 1 | 0-1-0 | 24 | 474 | 33.86 | 57.86 | 311.04 | 1100 | 151.0 | 2,847,000 | 878,965 | 83,050 | 3,809,015 | 321,518 | 40,421 | 4,170,954 |
| 2 | 0-2-0 | 24 | 720 | 51.43 | 75.43 | 1,013.76 | 2500 | 116.0 | 3,805,490 | 1,634,760 | 145,000 | 5,585,250 | 121,183 | 121,264 | 5,827,697 |
| 3 | 0-3-0 | 24 | 614 | 43.86 | 67.86 | 260.57 | 1100 | 129.0 | 2,847,000 | 941,130 | 70,950 | 3,859,080 | 153,511 | 40,421 | 4,053,013 |
| 4 | 0-4-0 | 24 | 484 | 34.57 | 58.57 | 224.82 | 1100 | 149.0 | 2,847,000 | 883,017 | 81,950 | 3,811,967 | 166,985 | 40,421 | 4,019,373 |
| 5 | 0-5-0 | 24 | 424 | 30.29 | 54.29 | 208.37 | 1100 | 161.0 | 2,847,000 | 852,383 | 88,550 | 3,787,933 | 189,441 | 40,421 | 4,017,796 |
| 6 | 0-6-0 | 24 | 586 | 41.86 | 65.86 | 50.58 | 1100 | 133.0 | 2,847,000 | 931,088 | 73,150 | 3,851,238 | 220,880 | 40,421 | 4,112,539 |
| 7 | 0-7-0 | 24 | 434 | 31.00 | 55.00 | 84.48 | 1100 | 159.0 | 2,847,000 | 858,542 | 87,450 | 3,792,992 | 292,740 | 40,421 | 4,126,154 |
| 24 | 0-3-10-0 | 36 | 760 | 54.29 | 90.29 | 416.04 | 1100 | 97.0 | 2,847,000 | 897,013 | 80,025 | 3,824,038 | 347,444 | 80,843 | 4,252,324 |
| 25 | 0-4-5-0 | 36 | 563 | 40.21 | 76.21 | 585.07 | 1100 | 114.0 | 2,847,000 | 817,671 | 94,050 | 3,758,721 | 356,426 | 80,843 | 4,195,990 |
| 26 | 0-4-6-0 | 36 | 753 | 53.79 | 89.79 | 413.58 | 1100 | 97.0 | 2,847,000 | 889,861 | 80,025 | 3,816,886 | 387,865 | 80,843 | 4,285,594 |
| 27 | 0-4-7-0 | 36 | 636 | 45.43 | 81.43 | 437.62 | 1100 | 107.0 | 2,847,000 | 849,736 | 88,275 | 3,785,011 | 459,725 | 80,843 | 4,325,579 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 48 | 1176 | 84.00 | 132.00 | 2,990.37 | 7500 | 66.0 | 7,229,190 | 3,788,710 | 495,000 | 11,512,900 | 971,551 | 363,792 | 12,848,244 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 48 | 1390 | 99.29 | 147.29 | 2,884.44 | 7500 | 59.0 | 7,229,190 | 3,930,494 | 442,500 | 11,602,184 | 980,534 | 323,371 | 12,906,089 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 48 | 1123 | 80.21 | 128.21 | 2,510.95 | 7500 | 68.0 | 7,229,190 | 3,748,348 | 510,000 | 11,487,538 | 940,113 | 323,371 | 12,751,021 |
| 79 | 0-1-2-3-6-0 | 60 | 1487 | 106.21 | 166.21 | 3,893.40 | 7500 | 52.0 | 7,229,190 | 3,769,366 | 487,500 | 11,486,056 | 1,213,702 | 485,056 | 13,184,814 |
| 80 | 0-1-2-3-7-0 | 60 | 1393 | 99.50 | 159.50 | 3,858.62 | 7500 | 54.0 | 7,229,190 | 3,695,793 | 506,250 | 11,431,233 | 1,258,615 | 485,056 | 13,174,904 |
| 81 | 0-1-2-3-8-0 | 60 | 1616 | 115.43 | 175.43 | 4,513.43 | 7500 | 49.0 | 7,229,190 | 3,824,056 | 459,375 | 11,512,621 | 1,213,702 | 525,477 | 13,251,800 |
| 82 | 0-1-2-3-9-0 | 60 | 1889 | 134.93 | 194.93 | 5,015.12 | 7500 | 44.0 | 7,229,190 | 3,951,027 | 412,500 | 11,592,717 | 1,177,772 | 565,899 | 13,336,388 |
| 83 | 0-1-2-3-10-0 | 60 | 1346 | 96.14 | 156.14 | 3,657.49 | 7500 | 56.0 | 7,229,190 | 3,719,353 | 525,000 | 11,473,543 | 1,173,281 | 485,056 | 13,131,879 |
| 84 | 0-2-3-4-5-0 | 60 | 1132 | 80.86 | 140.86 | 3,515.32 | 7500 | 62.0 | 7,229,190 | 3,546,596 | 581,250 | 11,357,036 | 926,030 | 444,635 | 12,727,701 |
| 85 | 0-2-3-4-6-0 | 60 | 1322 | 94.43 | 154.43 | 3,379.88 | 7500 | 56.0 | 7,229,190 | 3,661,486 | 525,000 | 11,415,676 | 935,013 | 444,635 | 12,795,324 |
| 86 | 0-2-3-4-7-0 | 60 | 1205 | 86.07 | 146.07 | 3,309.15 | 7500 | 59.0 | 7,229,190 | 3,560,426 | 553,125 | 11,342,741 | 979,925 | 404,213 | 12,726,880 |
| 87 | 0-2-3-4-8-0 | 60 | 1439 | 102.79 | 162.79 | 3,937.84 | 7500 | 53.0 | 7,229,190 | 3,732,321 | 496,875 | 11,458,386 | 935,013 | 485,056 | 12,878,455 |
| 88 | 0-2-3-4-9-0 | 60 | 1724 | 123.14 | 183.14 | 4,430.29 | 7500 | 47.0 | 7,229,190 | 3,886,521 | 440,625 | 11,556,336 | 899,083 | 525,477 | 12,980,896 |
| 261 | 0-1-4-5-6-7-8-10-0 | 96 | 1479 | 105.64 | 201.64 | 3,870.87 | 7500 | 43.0 | 7,229,190 | 3,320,549 | 645,000 | 11,194,739 | 2,256,694 | 485,056 | 13,936,489 |
| 262 | 0-1-4-5-6-9-7-10-0 | 96 | 1656 | 118.29 | 214.29 | 4,113.57 | 7500 | 40.0 | 7,229,190 | 3,393,715 | 600,000 | 11,222,905 | 2,220,764 | 565,899 | 14,009,567 |
| 263 | 0-1-5-6-9-7-8-10-0 | 96 | 1789 | 127.79 | 223.79 | 4,124.45 | 7500 | 39.0 | 7,229,190 | 3,532,200 | 585,000 | 11,346,390 | 2,265,676 | 565,899 | 14,177,965 |
| 264 | 0-2-3-4-5-6-7-8-0 | 96 | 1641 | 117.21 | 213.21 | 6,467.36 | 7500 | 41.0 | 7,229,190 | 3,452,079 | 615,000 | 11,296,269 | 1,859,080 | 848,848 | 14,004,197 |
| 265 | 0-2-3-4-5-6-7-10-0 | 96 | 1458 | 104.14 | 200.14 | 5,609.74 | 7500 | 43.0 | 7,229,190 | 3,281,670 | 645,000 | 11,155,860 | 1,818,659 | 646,741 | 13,621,260 |
| 287 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 108 | 2043 | 145.93 | 253.93 | 8,482.40 | 10000 | 34.0 | 3,650,000 | 4,543,235 | 765,000 | 8,958,235 | 2,266,222 | 970,112 | 12,194,569 |
| 288 | 0-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 108 | 1860 | 132.86 | 240.86 | 7,490.82 | 10000 | 36.0 | 3,650,000 | 4,443,206 | 810,000 | 8,903,206 | 2,225,800 | 929,691 | 12,058,697 |
| 289 | 0-1-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 120 | 1877 | 134.07 | 254.07 | 9,267.68 | 15600 | 34.0 | 5,694,000 | 6,499,208 | 1,326,000 | 13,519,208 | 2,960,267 | 1,091,376 | 17,570,851 |
| 290 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 120 | 2237 | 159.79 | 279.79 | 10,850.28 | 15600 | 31.0 | 5,694,000 | 6,865,435 | 1,209,000 | 13,768,435 | 2,964,759 | 1,293,483 | 18,026,676 |
| 291 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 120 | 2054 | 146.71 | 266.71 | 9,728.85 | 15600 | 32.0 | 5,694,000 | 6,593,818 | 1,248,000 | 13,535,818 | 2,924,337 | 1,172,219 | 17,632,373 |
| 292 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 120 | 1860 | 132.86 | 252.86 | 8,640.80 | 10000 | 34.0 | 3,650,000 | 4,270,890 | 850,000 | 8,770,890 | 2,540,817 | 1,010,533 | 12,322,241 |
| 293 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 132 | 2279 | 162.79 | 294.79 | 11,658.38 | 15600 | 29.0 | 5,694,000 | 6,621,072 | 1,244,100 | 13,559,172 | 3,253,187 | 1,333,904 | 18,146,263 |

5.2.2 Tahap 2: Penentuan Rute Jamak (*Multiple Route*)

Pada tahap ini, beberapa rute jamak (*multiple route*) dibuat/ ditentukan dengan mengkombinasikan rute tunggal yang telah dihasilkan pada tahap 1. Rute jamak dijadikan pertimbangan pada studi ini untuk mengakomodasi peluang kapal yang memiliki kapasitas lebih kecil melayani dua atau lebih rute dibandingkan dengan menggunakan kapal yang memiliki kapasitas lebih besar yang melayani beberapa pembangkit dalam satu rute. Mengacu pada algoritma seperti diberikan pada Gambar 3.4, Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berturut-turut adalah rute jamak yang dihasilkan pada kecepatan 10 knot dan 14 knot.

5.2.3 Tahap 3: Penentuan Rute Optimal dengan *Metode Set Partitioning Problem*

Pada tahap ini rute-rute yang telah dihasilkan pada Tahap 1 dan Tahap 2 dipilih sehingga kombinasi rute yang terpilih adalah kombinasi rute yang memberikan total biaya distribusi yang paling murah. Dalam pemilihan rute ini juga dipastikan bahwa seluruh pembangkit dilayani oleh rute kapal dan tidak ada pembangkit yang dilayani oleh lebih dari satu rute. Pada studi ini, solusi optimal dengan metode SPP dilakukan dengan menggunakan *commercial software* LINGO 6.0. Software ini memungkinkan untuk berinteraksi dengan spreadsheet seperti Ms. Excel.

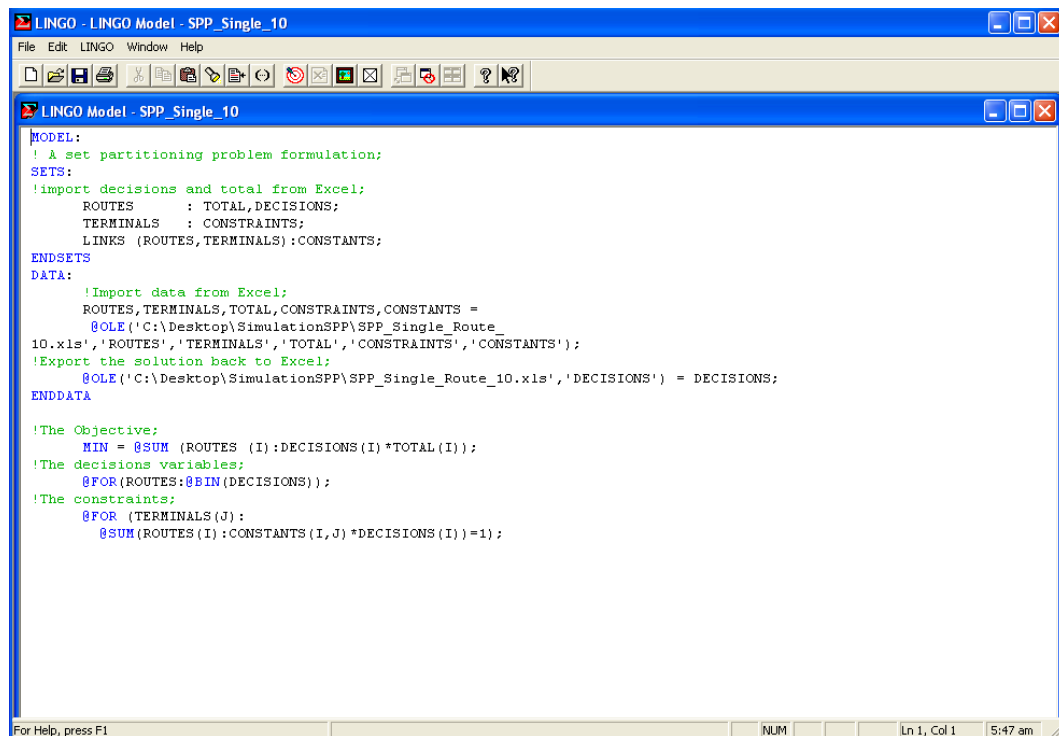
Pada studi ini beberapa skenario optimasi dilakukan diantaranya adalah skenario optimasi dengan hanya mempertimbangkan rute tunggal (*single route*). Untuk skenario yang hanya mempertimbangkan rute tunggal, optimasi dilakukan untuk masing-masing kecepatan 10 knot, 11 knot, 12 knot, 13 knot, 14 knot dan optimasi juga dilakukan dengan seluruh variasi kecepatan. Untuk seluruh variasi kecepatan, seluruh rute yang dihasilkan oleh seluruh kapasitas kapal pada seluruh variasi kecepatan dipertimbangkan dan SPP akan memberikan solusi optimal berdasarkan seluruh alternatif rute yang diberikan sebagai input optimasi. Gambar 5.8 memperlihatkan salah satu routine yang ditulis pada software LINGO 6.0 untuk skenario alternative *single route* untuk seluruh kapal pada kecepatan 10 knot.

Tabel 5. 9 Sebagian Rute Jamak (*Multiple Route*) pada Kecepatan Kapal 10 knot

| No | Route | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route time @ 10 knot | Total Route Time | Total Capacity Route 1 | Total Capacity Route 2 | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|------|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| 1 | 0-1-0-2-0 | 48 | 1194 | 119.40 | 167.4 | 899.9 | 2249.9 | 2500 | 52.0 | 3805490 | 1,195,116 | 130,000 | 5,130,606.39 | 474,659.25 | 363,791.96 | 5,969,057.60 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 48 | 1088 | 108.80 | 156.8 | 843.0 | 602.1 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 614,758 | 60,500 | 3,522,258.10 | 475,029.22 | 202,106.65 | 4,199,393.96 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 48 | 958 | 95.80 | 143.8 | 773.1 | 552.0 | 1100 | 60.0 | 2847000 | 598,013 | 66,000 | 3,511,012.58 | 488,502.99 | 161,685.32 | 4,161,200.89 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 48 | 898 | 89.80 | 137.8 | 740.8 | 528.9 | 1100 | 63.0 | 2847000 | 592,714 | 69,300 | 3,509,014.32 | 510,959.29 | 161,685.32 | 4,181,658.92 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 48 | 1060 | 106.00 | 154.0 | 827.9 | 118.3 | 1100 | 56.0 | 2847000 | 611,335 | 61,600 | 3,519,934.50 | 542,398.10 | 161,685.32 | 4,224,017.92 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 48 | 908 | 90.80 | 138.8 | 746.2 | 213.2 | 1100 | 63.0 | 2847000 | 598,581 | 69,300 | 3,514,880.80 | 614,258.24 | 121,263.99 | 4,250,403.03 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 48 | 1092 | 109.20 | 157.2 | 845.1 | 482.9 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 616,807 | 60,500 | 3,524,306.71 | 515,450.55 | 202,106.65 | 4,241,863.91 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | 48 | 918 | 91.80 | 139.8 | 536.6 | 214.7 | 1100 | 62.0 | 2847000 | 594,853 | 68,200 | 3,510,052.88 | 459,725.25 | 121,263.99 | 4,091,042.12 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | 48 | 1102 | 110.20 | 158.2 | 607.2 | 486.0 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 621,928 | 60,500 | 3,529,428.24 | 360,917.56 | 161,685.32 | 4,052,031.12 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | 48 | 1474 | 147.40 | 195.4 | 750.0 | 600.3 | 1100 | 44.0 | 2847000 | 649,959 | 48,400 | 3,545,359.37 | 342,952.52 | 161,685.32 | 4,049,997.21 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | 48 | 740 | 74.00 | 122.0 | 468.3 | 93.7 | 1100 | 71.0 | 2847000 | 563,519 | 78,100 | 3,488,619.01 | 360,917.56 | 121,263.99 | 3,970,800.56 |
| 31 | 0-5-0-6-0 | 48 | 1010 | 101.00 | 149.0 | 571.9 | 114.4 | 1100 | 58.0 | 2847000 | 606,163 | 63,800 | 3,516,963.44 | 410,321.41 | 121,263.99 | 4,048,548.83 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | 48 | 858 | 85.80 | 133.8 | 513.6 | 205.5 | 1100 | 65.0 | 2847000 | 587,320 | 71,500 | 3,505,819.77 | 482,181.55 | 121,263.99 | 4,109,265.30 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | 48 | 1042 | 104.20 | 152.2 | 584.2 | 467.6 | 1100 | 57.0 | 2847000 | 612,697 | 62,700 | 3,522,397.20 | 383,373.85 | 161,685.32 | 4,067,456.37 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | 48 | 1414 | 141.40 | 189.4 | 727.0 | 581.8 | 1100 | 46.0 | 2847000 | 653,802 | 50,600 | 3,551,402.20 | 365,408.82 | 161,685.32 | 4,078,496.33 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | 48 | 680 | 68.00 | 116.0 | 445.2 | 89.1 | 1100 | 75.0 | 2847000 | 553,363 | 82,500 | 3,482,863.13 | 383,373.85 | 121,263.99 | 3,987,500.97 |
| 80 | 0-1-3-0-2-10-0 | 72 | 1862 | 186.20 | 258.2 | 2379.6 | 3668.5 | 7500 | 33.0 | 7229190 | 2,550,951 | 371,250 | 10,151,390.82 | 1,173,280.73 | 687,162.60 | 12,011,834.15 |
| 81 | 0-1-3-0-4-5-0 | 72 | 1496 | 149.60 | 221.6 | 2042.3 | 1701.1 | 2500 | 39.0 | 3805490 | 1,123,049 | 146,250 | 5,074,789.07 | 914,560.08 | 485,055.95 | 6,474,405.11 |
| 82 | 0-1-3-0-4-6-0 | 72 | 1686 | 168.60 | 240.6 | 2217.4 | 1108.3 | 2500 | 36.0 | 3805490 | 1,168,322 | 135,000 | 5,108,812.13 | 945,998.90 | 444,634.62 | 6,499,445.65 |
| 83 | 0-1-3-0-4-7-0 | 72 | 1569 | 156.90 | 228.9 | 2109.5 | 1230.2 | 2500 | 38.0 | 3805490 | 1,147,649 | 142,500 | 5,095,638.97 | 1,017,859.04 | 444,634.62 | 6,558,132.63 |
| 84 | 0-1-3-0-4-8-0 | 72 | 1803 | 180.30 | 252.3 | 2325.2 | 1743.5 | 7500 | 34.0 | 7229190 | 2,551,884 | 382,500 | 10,163,573.94 | 1,310,169.81 | 485,055.95 | 11,958,799.70 |
| 85 | 0-1-3-0-4-9-0 | 72 | 2088 | 208.80 | 280.8 | 2587.9 | 1940.4 | 7500 | 31.0 | 7229190 | 2,663,066 | 348,750 | 10,241,006.16 | 1,274,239.74 | 525,477.28 | 12,040,723.18 |
| 86 | 0-1-3-0-4-10-0 | 72 | 1543 | 154.30 | 226.3 | 2085.6 | 1042.4 | 2500 | 38.0 | 3805490 | 1,128,631 | 142,500 | 5,076,621.21 | 919,051.34 | 444,634.62 | 6,440,307.17 |
| 294 | 0-5-10-0-9-8-0 | 72 | 1798 | 179.80 | 251.8 | 1159.9 | 1547.1 | 2500 | 34.0 | 3805490 | 1,176,715 | 127,500 | 5,109,704.59 | 866,381.79 | 323,370.63 | 6,299,457.01 |
| 295 | 0-6-7-0-9-8-0 | 72 | 1919 | 191.90 | 263.9 | 608.0 | 1621.4 | 2500 | 33.0 | 3805490 | 1,218,966 | 123,750 | 5,148,205.59 | 996,628.30 | 363,791.96 | 6,508,625.85 |
| 304 | 0-1-0-2-8-0 | 60 | 1765 | 176.50 | 236.5 | 1271.4 | 3905.1 | 7500 | 37.0 | 7229190 | 2,683,963 | 346,875 | 10,260,028.35 | 980,533.87 | 565,898.61 | 11,806,460.83 |
| 1027 | 0-8-0-4-5-9-0 | 72 | 1791 | 179.10 | 251.1 | 771.4 | 2699.0 | 7500 | 34.0 | 7229190 | 2,536,351 | 382,500 | 10,148,041.38 | 1,094,358.09 | 404,213.29 | 11,646,612.76 |
| 1028 | 0-8-0-4-5-10-0 | 72 | 1275 | 127.50 | 199.5 | 612.9 | 1684.7 | 2500 | 43.0 | 3805490 | 1,055,313 | 161,250 | 5,022,052.72 | 848,416.76 | 282,949.31 | 6,153,418.78 |
| 1029 | 0-8-0-5-6-7-0 | 72 | 1273 | 127.30 | 199.3 | 612.2 | 1224.2 | 2500 | 43.0 | 3805490 | 1,053,657 | 161,250 | 5,020,397.33 | 1,001,119.55 | 242,527.98 | 6,264,044.86 |
| 1030 | 0-8-0-5-6-9-0 | 72 | 1658 | 165.80 | 237.8 | 730.5 | 1825.9 | 2500 | 36.0 | 3805490 | 1,148,919 | 135,000 | 5,089,409.39 | 893,329.34 | 323,370.63 | 6,306,109.37 |
| 1031 | 0-8-0-5-6-10-0 | 72 | 1338 | 133.80 | 205.8 | 632.2 | 1106.0 | 2500 | 42.0 | 3805490 | 1,081,703 | 157,500 | 5,044,692.76 | 902,311.86 | 242,527.98 | 6,189,532.59 |
| 1032 | 0-8-0-6-9-7-0 | 72 | 1659 | 165.90 | 237.9 | 730.8 | 1279.0 | 2500 | 36.0 | 3805490 | 1,149,612 | 135,000 | 5,090,102.35 | 996,628.30 | 242,527.98 | 6,329,258.62 |
| 1033 | 0-8-0-6-7-10-0 | 72 | 1321 | 132.10 | 204.1 | 627.0 | 627.0 | 1100 | 42.0 | 2847000 | 582,546 | 69,300 | 3,498,845.75 | 901,485.47 | 202,106.65 | 4,602,437.86 |
| 1034 | 0-8-0-6-9-10-0 | 72 | 1695 | 169.50 | 241.5 | 741.9 | 1112.8 | 2500 | 36.0 | 3805490 | 1,174,559 | 135,000 | 5,115,048.73 | 897,820.60 | 242,527.98 | 6,255,397.30 |
| 1035 | 0-8-0-9-7-10-0 | 72 | 1720 | 172.00 | 244.0 | 749.6 | 1311.7 | 2500 | 35.0 | 3805490 | 1,158,775 | 131,250 | 5,095,514.75 | 969,680.74 | 242,527.98 | 6,307,723.47 |

Tabel 5. 10 Sebagian Rute Jamak (*Multiple Route*) pada Kecepatan Kapal 14 knot

| No | Route | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route time @ 14 knot | Total Route Time | Total Capacity Route 1 | Total Capacity Route 2 | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|------|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| 1 | 0-1-0-2-0 | 48 | 1194 | 85.29 | 133.3 | 716.5 | 1791.4 | 2500 | 65.0 | 3,805,490 | 1,690,027 | 162,500 | 5,658,017 | 474,659 | 282,949 | 6,415,626 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 48 | 1088 | 77.71 | 125.7 | 675.8 | 482.7 | 1100 | 69.0 | 2,847,000 | 905,041 | 75,900 | 3,827,941 | 475,029 | 161,685 | 4,464,656 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 48 | 958 | 68.43 | 116.4 | 625.9 | 446.9 | 1100 | 75.0 | 2,847,000 | 881,044 | 82,500 | 3,810,544 | 488,503 | 161,685 | 4,460,732 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 48 | 898 | 64.14 | 112.1 | 602.9 | 430.4 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 866,991 | 85,800 | 3,799,791 | 510,959 | 161,685 | 4,472,435 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 48 | 1060 | 75.71 | 123.7 | 665.1 | 95.0 | 1100 | 70.0 | 2,847,000 | 897,513 | 77,000 | 3,821,513 | 542,398 | 121,264 | 4,485,175 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 48 | 908 | 64.86 | 112.9 | 606.7 | 173.3 | 1100 | 77.0 | 2,847,000 | 863,986 | 84,700 | 3,795,686 | 614,258 | 121,264 | 4,531,208 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 48 | 1092 | 78.00 | 126.0 | 677.4 | 387.1 | 1100 | 69.0 | 2,847,000 | 907,949 | 75,900 | 3,830,849 | 515,451 | 121,264 | 4,467,563 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | 48 | 918 | 65.57 | 113.6 | 435.9 | 174.4 | 1100 | 77.0 | 2,847,000 | 872,096 | 84,700 | 3,803,796 | 459,725 | 121,264 | 4,384,786 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | 48 | 1102 | 78.71 | 126.7 | 486.4 | 389.3 | 1100 | 69.0 | 2,847,000 | 915,216 | 75,900 | 3,838,116 | 360,918 | 121,264 | 4,320,298 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | 48 | 1474 | 105.29 | 153.3 | 588.4 | 470.9 | 1100 | 57.0 | 2,847,000 | 979,391 | 62,700 | 3,889,091 | 342,953 | 161,685 | 4,393,729 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | 48 | 740 | 52.86 | 100.9 | 387.1 | 77.5 | 1100 | 86.0 | 2,847,000 | 812,790 | 94,600 | 3,754,390 | 360,918 | 80,843 | 4,196,150 |
| 31 | 0-5-0-6-0 | 48 | 1010 | 72.14 | 120.1 | 461.1 | 92.3 | 1100 | 72.0 | 2,847,000 | 885,238 | 79,200 | 3,811,438 | 410,321 | 121,264 | 4,343,023 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | 48 | 858 | 61.29 | 109.3 | 419.5 | 167.9 | 1100 | 80.0 | 2,847,000 | 855,516 | 88,000 | 3,790,516 | 482,182 | 121,264 | 4,393,961 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | 48 | 1042 | 74.43 | 122.4 | 469.9 | 376.1 | 1100 | 71.0 | 2,847,000 | 896,874 | 78,100 | 3,821,974 | 383,374 | 121,264 | 4,326,611 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | 48 | 1414 | 101.00 | 149.0 | 571.9 | 457.7 | 1100 | 58.0 | 2,847,000 | 959,918 | 63,800 | 3,870,718 | 365,409 | 161,685 | 4,397,812 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | 48 | 680 | 48.57 | 96.6 | 370.7 | 74.2 | 1100 | 90.0 | 2,847,000 | 793,716 | 99,000 | 3,739,716 | 383,374 | 80,843 | 4,203,932 |
| 80 | 0-1-3-0-2-10-0 | 72 | 1862 | 133.00 | 205.0 | 1889.3 | 2912.6 | 7500 | 42.0 | 7,229,190 | 3,793,712 | 472,500 | 11,495,402 | 1,173,281 | 525,477 | 13,194,160 |
| 81 | 0-1-3-0-4-5-0 | 72 | 1496 | 106.86 | 178.9 | 1648.3 | 1373.0 | 2500 | 48.0 | 3,805,490 | 1,563,683 | 180,000 | 5,549,173 | 914,560 | 363,792 | 6,827,525 |
| 82 | 0-1-3-0-4-6-0 | 72 | 1686 | 120.43 | 192.4 | 1773.4 | 886.4 | 2500 | 45.0 | 3,805,490 | 1,652,137 | 168,750 | 5,626,377 | 945,999 | 323,371 | 6,895,747 |
| 83 | 0-1-3-0-4-7-0 | 72 | 1569 | 112.07 | 184.1 | 1696.4 | 989.3 | 2500 | 47.0 | 3,805,490 | 1,605,820 | 176,250 | 5,587,560 | 1,017,859 | 323,371 | 6,928,789 |
| 84 | 0-1-3-0-4-8-0 | 72 | 1803 | 128.79 | 200.8 | 1850.4 | 1387.5 | 2500 | 43.0 | 3,805,490 | 1,688,263 | 161,250 | 5,655,003 | 954,981 | 363,792 | 6,973,777 |
| 85 | 0-1-3-0-4-9-0 | 72 | 2088 | 149.14 | 221.1 | 2038.1 | 1528.2 | 2500 | 39.0 | 3,805,490 | 1,773,255 | 146,250 | 5,724,995 | 910,069 | 444,635 | 7,079,698 |
| 86 | 0-1-3-0-4-10-0 | 72 | 1543 | 110.21 | 182.2 | 1679.3 | 839.3 | 2500 | 48.0 | 3,805,490 | 1,612,810 | 180,000 | 5,598,300 | 919,051 | 323,371 | 6,840,722 |
| 294 | 0-5-10-0-9-8-0 | 72 | 1798 | 128.43 | 200.4 | 923.2 | 1231.4 | 2500 | 43.0 | 3,805,490 | 1,683,581 | 161,250 | 5,650,321 | 866,382 | 282,949 | 6,799,652 |
| 295 | 0-6-7-0-9-8-0 | 72 | 1919 | 137.07 | 209.1 | 481.7 | 1284.5 | 2500 | 41.0 | 3,805,490 | 1,713,305 | 153,750 | 5,672,545 | 996,628 | 242,528 | 6,911,702 |
| 302 | 0-1-0-2-6-0 | 60 | 1670 | 119.29 | 179.3 | 963.8 | 2547.3 | 7500 | 48.0 | 7,229,190 | 3,857,613 | 450,000 | 11,536,803 | 980,534 | 444,635 | 12,961,972 |
| 1027 | 0-8-0-4-5-9-0 | 72 | 1791 | 127.93 | 199.9 | 614.2 | 2149.0 | 2500 | 43.0 | 3,805,490 | 1,677,027 | 161,250 | 5,643,767 | 839,434 | 323,371 | 6,806,572 |
| 1028 | 0-8-0-4-5-10-0 | 72 | 1275 | 91.07 | 163.1 | 501.0 | 1377.1 | 2500 | 53.0 | 3,805,490 | 1,471,506 | 198,750 | 5,475,746 | 848,417 | 282,949 | 6,607,112 |
| 1029 | 0-8-0-5-6-7-0 | 72 | 1273 | 90.93 | 162.9 | 500.5 | 1000.8 | 2500 | 53.0 | 3,805,490 | 1,469,198 | 198,750 | 5,473,438 | 1,001,120 | 242,528 | 6,717,085 |
| 1030 | 0-8-0-5-6-9-0 | 72 | 1658 | 118.43 | 190.4 | 585.0 | 1462.2 | 2500 | 46.0 | 3,805,490 | 1,660,804 | 172,500 | 5,638,794 | 893,329 | 282,949 | 6,815,072 |
| 1031 | 0-8-0-5-6-10-0 | 72 | 1338 | 95.57 | 167.6 | 514.8 | 900.6 | 1100 | 52.0 | 2,847,000 | 862,061 | 85,800 | 3,794,861 | 798,187 | 242,528 | 4,835,576 |
| 1032 | 0-8-0-6-9-7-0 | 72 | 1659 | 118.50 | 190.5 | 585.2 | 1024.1 | 2500 | 45.0 | 3,805,490 | 1,625,679 | 168,750 | 5,599,919 | 996,628 | 242,528 | 6,839,076 |
| 1033 | 0-8-0-6-7-10-0 | 72 | 1321 | 94.36 | 166.4 | 511.0 | 511.0 | 1100 | 52.0 | 2,847,000 | 852,750 | 85,800 | 3,785,550 | 901,485 | 202,107 | 4,889,142 |
| 1034 | 0-8-0-6-9-10-0 | 72 | 1695 | 121.07 | 193.1 | 593.1 | 889.7 | 1100 | 45.0 | 2,847,000 | 915,228 | 74,250 | 3,836,478 | 784,713 | 242,528 | 4,863,719 |
| 1035 | 0-8-0-9-7-10-0 | 72 | 1720 | 122.86 | 194.9 | 598.6 | 1047.6 | 2500 | 44.0 | 3,805,490 | 1,648,000 | 165,000 | 5,618,490 | 969,681 | 242,528 | 6,830,698 |



Gambar 5. 8 Screenshot Antarmuka pada Software LINGO 6.0

Berdasarkan seluruh alternative *single route* untuk kecepatan 10 knot, Tabel 5.11 dan Tabel 5.12 memperlihatkan hasil optimasi dengan SPP. Berdasarkan hasil optimasi dengan mempertimbangkan hanya 1 kecepatan kapal (10 knot) ada dua buah kapal yang dibutuhkan untuk melayani seluruh pembangkit yaitu:

- Kapal 10000 m³ yang melayani rute: Makassar-Senipah-Kalsel-Lombok-Sumbawa-Maumere-Makassar. Adapun jumlah trip yang dilakukan dalam setahun adalah 37 trip dengan total biaya distribusi dalam setahun adalah sebesar USD 9,870,527
- Kapal 2500 m³ yang melayani rute: Makassar-Bima-Waingapu-Kupang-Flores-Selayar-Makassar dengan jumlah trip per tahun adalah 46 kali. Adapun total biaya distribusi untuk rute ini dalam setahun adalah USD 6, 375,612

Sehingga total biaya distribusi selama setahun adalah sebesar USD 16,246,139.

Adapun rangkuman hasil optimasi pemilihan rute dengan hanya mempertimbangkan *single route* untuk seluruh variasi kecepatan dapat dilihat pada Tabel 5.13

Tabel 5. 11 Hasil Optimasi SPP pada Skenario *Single Route* dan Kecepatan Kapal 10 knot (1)

| No | Routes | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route time @ 10 knot | Total Route Time | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost (\$/yr) | Decision Variables (Xijk) | Selected Routes |
|-----|------------------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|--------------------------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| 1 | 0-1-0 | 24 | 474 | 47.40 | 71.40 | 383.85 | 1100 | 122.0 | 2847000 | 598470 | 67,100 | 3,512,570 | 40,421 | 3,874,510 | 0 | - |
| 2 | 0-2-0 | 24 | 720 | 72.00 | 96.00 | 1,290.24 | 2500 | 91.0 | 3805490 | 1101719 | 113,750 | 5,020,959 | 161,685 | 5,303,827 | 0 | - |
| 3 | 0-3-0 | 24 | 614 | 61.40 | 85.40 | 327.94 | 1100 | 102.0 | 2847000 | 633334 | 56,100 | 3,536,434 | 40,421 | 3,730,367 | 0 | - |
| 160 | 0-6-9-7-10-0 | 60 | 1105 | 110.50 | 170.50 | 1,047.55 | 2500 | 51.0 | 3805490 | 990741 | 159,375 | 4,955,606 | 202,107 | 6,118,411 | 0 | - |
| 161 | 0-6-9-8-10-0 | 60 | 1325 | 132.50 | 192.50 | 1,478.40 | 2500 | 45.0 | 3805490 | 1028605 | 140,625 | 4,974,720 | 242,528 | 6,115,069 | 0 | - |
| 162 | 0-9-7-8-10-0 | 60 | 1327 | 132.70 | 192.70 | 1,627.93 | 2500 | 45.0 | 3805490 | 1030009 | 140,625 | 4,976,124 | 242,528 | 6,188,333 | 0 | - |
| 163 | 0-1-2-3-4-5-0 | 72 | 1326 | 132.60 | 204.60 | 6,206.06 | 7500 | 42.0 | 7229190 | 2389633 | 472,500 | 10,091,323 | 646,741 | 12,193,917 | 0 | - |
| 164 | 0-1-2-3-4-6-0 | 72 | 1516 | 151.60 | 223.60 | 6,095.86 | 7500 | 39.0 | 7229190 | 2501043 | 438,750 | 10,168,983 | 768,005 | 12,401,824 | 0 | - |
| 165 | 0-1-2-3-4-7-0 | 72 | 1399 | 139.90 | 211.90 | 5,939.63 | 7500 | 41.0 | 7229190 | 2446680 | 461,250 | 10,137,120 | 727,584 | 12,374,452 | 0 | - |
| 166 | 0-1-2-3-4-8-0 | 72 | 1633 | 163.30 | 235.30 | 6,956.96 | 10000 | 37.0 | 3650000 | 3285552 | 555,000 | 7,490,552 | 808,427 | 9,870,527 | 1 | 9,870,527 |
| 167 | 0-1-2-3-4-9-0 | 72 | 1918 | 191.80 | 263.80 | 7,799.60 | 10000 | 33.0 | 3650000 | 3393942 | 495,000 | 7,538,942 | 889,269 | 9,963,828 | 0 | - |
| 168 | 0-1-2-3-4-10-0 | 72 | 1373 | 137.30 | 209.30 | 5,706.01 | 7500 | 41.0 | 7229190 | 2406098 | 461,250 | 10,096,538 | 727,584 | 12,248,536 | 0 | - |
| 169 | 0-2-3-4-5-6-0 | 72 | 1341 | 134.10 | 206.10 | 5,301.85 | 7500 | 42.0 | 7229190 | 2413617 | 472,500 | 10,115,307 | 565,899 | 11,903,282 | 0 | - |
| 170 | 0-2-3-4-5-7-0 | 72 | 1224 | 122.40 | 194.40 | 5,150.17 | 7500 | 45.0 | 7229190 | 2385580 | 506,250 | 10,121,020 | 565,899 | 11,953,907 | 0 | - |
| 171 | 0-2-3-4-5-8-0 | 72 | 1509 | 150.90 | 222.90 | 6,247.59 | 7500 | 39.0 | 7229190 | 2490650 | 438,750 | 10,158,590 | 768,005 | 12,148,672 | 0 | - |
| 172 | 0-2-3-4-5-9-0 | 72 | 1742 | 174.20 | 246.20 | 6,900.66 | 10000 | 35.0 | 3650000 | 3296001 | 525,000 | 7,471,001 | 808,427 | 9,555,686 | 0 | - |
| 228 | 0-5-6-9-7-10-0 | 72 | 1152 | 115.20 | 187.20 | 1,868.69 | 2500 | 46.0 | 3805490 | 947485 | 172,500 | 4,925,475 | 282,949 | 6,375,612 | 1 | 6,375,612 |
| 229 | 0-6-9-7-8-10-0 | 72 | 1330 | 133.00 | 205.00 | 1,889.28 | 2500 | 42.0 | 3805490 | 981706 | 157,500 | 4,944,696 | 282,949 | 6,435,255 | 0 | - |
| 230 | 0-1-2-3-4-5-6-0 | 84 | 1454 | 145.40 | 229.40 | 7,134.49 | 10000 | 38.0 | 3650000 | 3091677 | 665,000 | 7,406,677 | 889,269 | 10,173,528 | 0 | - |
| 231 | 0-1-2-3-4-5-7-0 | 84 | 1418 | 141.80 | 225.80 | 7,195.94 | 10000 | 38.0 | 3650000 | 3024247 | 665,000 | 7,339,247 | 889,269 | 10,151,011 | 0 | - |
| 232 | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 84 | 1653 | 165.30 | 249.30 | 8,327.78 | 10000 | 35.0 | 3650000 | 3190911 | 612,500 | 7,453,411 | 970,112 | 10,301,105 | 0 | - |
| 233 | 0-1-2-3-4-5-9-0 | 84 | 1936 | 193.60 | 277.60 | 9,273.14 | 15600 | 31.0 | 5694000 | 4921015 | 846,300 | 11,461,315 | 1,050,955 | 14,445,566 | 0 | - |
| 234 | 0-1-2-3-4-5-10-0 | 84 | 1420 | 142.00 | 226.00 | 7,028.75 | 10000 | 38.0 | 3650000 | 3027993 | 665,000 | 7,342,993 | 889,269 | 10,069,423 | 0 | - |
| 285 | 0-1-2-3-4-5-9-7-10-0 | 108 | 2048 | 204.80 | 312.80 | 11,169.67 | 15600 | 28.0 | 5694000 | 4795291 | 982,800 | 11,472,091 | 1,374,325 | 15,441,903 | 0 | - |
| 286 | 0-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 108 | 1683 | 168.30 | 276.30 | 8,593.11 | 10000 | 31.0 | 3650000 | 2957906 | 697,500 | 7,305,406 | 1,050,955 | 10,618,091 | 0 | - |
| 287 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 108 | 2043 | 204.30 | 312.30 | 10,432.28 | 15600 | 28.0 | 5694000 | 4784870 | 982,800 | 11,461,670 | 1,172,219 | 15,007,317 | 0 | - |
| 288 | 0-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 108 | 1860 | 186.00 | 294.00 | 9,143.60 | 15600 | 29.0 | 5694000 | 4560725 | 1,017,900 | 11,272,625 | 1,050,955 | 14,656,586 | 0 | - |
| 289 | 0-1-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 120 | 1877 | 187.70 | 307.70 | 11,223.87 | 15600 | 28.0 | 5694000 | 4497426 | 1,092,000 | 11,283,426 | 1,293,483 | 15,537,175 | 0 | - |
| 290 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 120 | 2237 | 223.70 | 343.70 | 13,328.92 | 15600 | 25.0 | 5694000 | 4685485 | 975,000 | 11,354,485 | 1,536,011 | 15,855,254 | 0 | - |
| 291 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 120 | 2054 | 205.40 | 325.40 | 11,869.51 | 15600 | 26.0 | 5694000 | 4518736 | 1,014,000 | 11,226,736 | 1,414,747 | 15,565,820 | 0 | - |
| 292 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 120 | 1860 | 186.00 | 306.00 | 10,456.84 | 15600 | 28.0 | 5694000 | 4461994 | 1,092,000 | 11,247,994 | 1,212,640 | 15,122,491 | 0 | - |

16,246,139

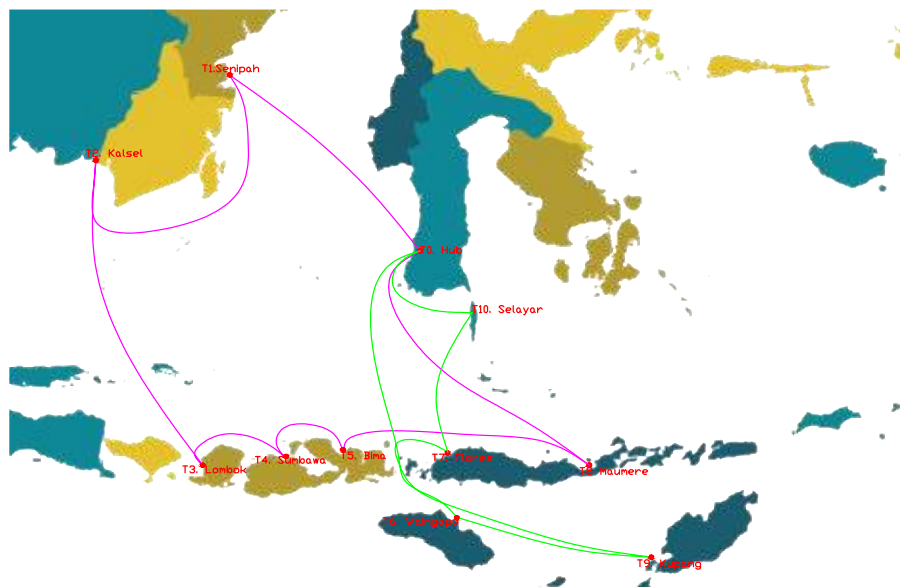
Tabel 5. 12 Hasil Optimasi SPP pada Skenario *Single Route* dan Kecepatan Kapal 10 knot (2)

| No | Routes | Hub | Terminal LNG | | | | | | | | | | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost (\$/yr) | Decision Variables (X _{ijk}) | Selected Routes | |
|-----|------------------------|----------|--------------|----------|--------|---------|------|----------|------------|---------|----------|---------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------|--|-----------------|------------|
| | | Makassar | Senipah | Kalsel P | Lombok | Sumbawa | Bima | Waingapu | MPP Flores | Maumere | Kupang P | Selayar | | | | | | |
| | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | | | | | | |
| 1 | 0-1-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,512,570 | 40,421 | 3,874,510 | 0 | - | |
| 2 | 0-2-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,020,959 | 161,685 | 5,303,827 | 0 | - | |
| 3 | 0-3-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,536,434 | 40,421 | 3,730,367 | 0 | - | |
| 160 | 0-6-9-7-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4,955,606 | 202,107 | 6,118,411 | 0 | - | |
| 161 | 0-6-9-8-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4,974,720 | 242,528 | 6,115,069 | 0 | - | |
| 162 | 0-9-7-8-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,976,124 | 242,528 | 6,188,333 | 0 | - | |
| 163 | 0-1-2-3-4-5-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,091,323 | 646,741 | 12,193,917 | 0 | - | |
| 164 | 0-1-2-3-4-6-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,168,983 | 768,005 | 12,401,824 | 0 | - | |
| 165 | 0-1-2-3-4-7-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 10,137,120 | 727,584 | 12,374,452 | 0 | - | |
| 166 | 0-1-2-3-4-8-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7,490,552 | 808,427 | 9,870,527 | 1 | 9,870,527 | |
| 167 | 0-1-2-3-4-9-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7,538,942 | 889,269 | 9,963,828 | 0 | - | |
| 168 | 0-1-2-3-4-10-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10,096,538 | 727,584 | 12,248,536 | 0 | - | |
| 169 | 0-2-3-4-5-6-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10,115,307 | 565,899 | 11,903,282 | 0 | - | |
| 170 | 0-2-3-4-5-7-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 10,121,020 | 565,899 | 11,953,907 | 0 | - | |
| 171 | 0-2-3-4-5-8-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 10,158,590 | 768,005 | 12,148,672 | 0 | - | |
| 172 | 0-2-3-4-5-9-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 7,471,001 | 808,427 | 9,555,686 | 0 | - | |
| 228 | 0-5-6-9-7-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 4,925,475 | 282,949 | 6,375,612 | 1 | 6,375,612 | |
| 229 | 0-6-9-7-8-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 4,944,696 | 282,949 | 6,435,255 | 0 | - | |
| 230 | 0-1-2-3-4-5-6-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,406,677 | 889,269 | 10,173,528 | 0 | - | |
| 231 | 0-1-2-3-4-5-7-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 7,339,247 | 889,269 | 10,151,011 | 0 | - | |
| 232 | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7,453,411 | 970,112 | 10,301,105 | 0 | - | |
| 233 | 0-1-2-3-4-5-9-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11,461,315 | 1,050,955 | 14,445,566 | 0 | - | |
| 234 | 0-1-2-3-4-5-10-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 7,342,993 | 889,269 | 10,069,423 | 0 | - | |
| 285 | 0-1-2-3-4-5-9-7-10-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 11,472,091 | 1,374,325 | 15,441,903 | 0 | - | |
| 286 | 0-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 7,305,406 | 1,050,955 | 10,618,091 | 0 | - | |
| 287 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11,461,670 | 1,172,219 | 15,007,317 | 0 | - | |
| 288 | 0-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 11,272,625 | 1,050,955 | 14,656,586 | 0 | - | |
| 289 | 0-1-2-3-4-5-6-7-8-10-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 11,283,426 | 1,293,483 | 15,537,175 | 0 | - | |
| 290 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-8-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 11,354,485 | 1,536,011 | 15,855,254 | 0 | - | |
| 291 | 0-1-2-3-4-5-6-9-7-10-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 11,226,736 | 1,414,747 | 15,565,820 | 0 | - | |
| 292 | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 11,247,994 | 1,212,640 | 15,122,491 | 0 | - | |
| | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | 16,246,139 |

Tabel 5. 13 Rangkuman Pemilihan *Single Rute* yang Optimal pada Seluruh Variasi Kecepatan

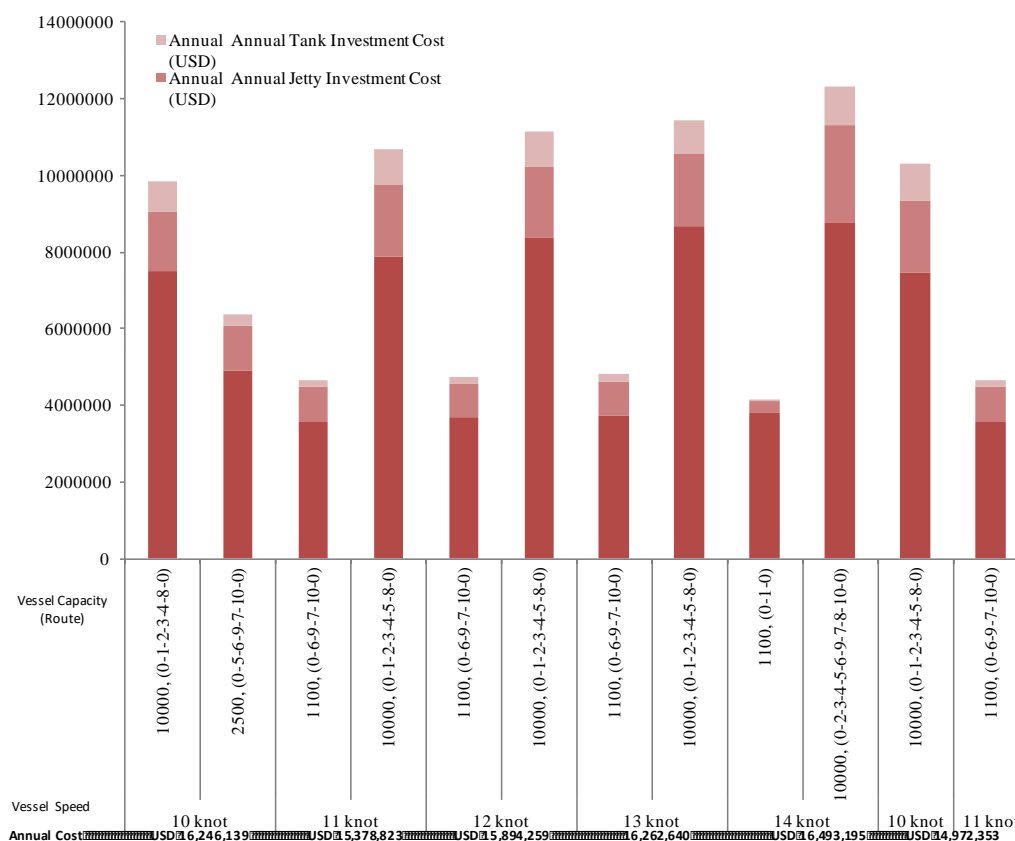
| Vessel Speed (Knot) | Selected Routes | Vessel Capacity (m3) | Annual Cost (USD) | | | Total Annual Cost (USD) | |
|---------------------|------------------------|----------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------|
| | | | Transport | Jetty | Tank | | |
| 10 | 0-1-2-3-4-8-0 | 10000 | 7,490,552 | 1,571,548 | 808,427 | 9,870,527 | 16,246,139 |
| | 0-5-6-9-7-10-0 | 2500 | 4,925,475 | 1,167,188 | 282,949 | 6,375,612 | |
| 11 | 0-6-9-7-10-0 | 1100 | 3,585,621 | 883,520 | 202,107 | 4,671,248 | 15,378,823 |
| | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 10000 | 7,900,303 | 1,877,582 | 929,691 | 10,707,575 | |
| 12 | 0-6-9-7-10-0 | 1100 | 3,675,246 | 883,520 | 202,107 | 4,760,873 | 15,894,259 |
| | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 10000 | 8,366,535 | 1,877,582 | 889,269 | 11,133,386 | |
| 13 | 0-6-9-7-10-0 | 1100 | 3,726,498 | 883,520 | 202,107 | 4,812,125 | 16,262,640 |
| | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 10000 | 8,683,663 | 1,877,582 | 889,269 | 11,450,514 | |
| 14 | 0-1-0 | 1100 | 3,809,015 | 321,518 | 40,421 | 4,170,954 | 16,493,195 |
| | 0-2-3-4-5-6-9-7-8-10-0 | 10000 | 8,770,890 | 2,540,817 | 1,010,533 | 12,322,241 | |
| 10 | 0-1-2-3-4-5-8-0 | 10000 | 7,453,411 | 1,877,582 | 970,112 | 10,301,105 | 14,972,353 |
| 11 | 0-6-9-7-10-0 | 1100 | 3,585,621 | 883,520 | 202,107 | 4,671,248 | |

Tabel 5.11 memperlihatkan pemilihan rute yang optimal untuk seluruh variasi kecepatan kapal. Jika hanya mempertimbangkan satu variasi kecepatan kapal, maka skenario kecepatan kapal 11 knot memberikan total biaya distribusi per tahun yang paling minimal. Sedangkan jika mempertimbangkan seluruh kapal pada seluruh variasi kecepatan, maka rute distribusi yang memberikan biaya distribusi terkecil adalah dengan mengoperasikan satu kapal dengan ukuran 10,000 m³ pada kecepatan 10 knot dan satu kapal dengan kapasitas 1,100 m³ pada kecepatan 11 knot. Ilustrasi rute kapal dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 lustrasi Optimal *Single Route*

Total biaya distribusi untuk semua rute yang optimal untuk seluruh variasi kecepatan kapal pada *single route* yang terdapat pada Tabel 5.16 dapat dilihat pada Gambar 5. 1. Terlihat bahwa untuk *single route* yang optimal memiliki total biaya yang paling rendah yaitu dengan total biaya distribusi per tahun adalah USD 14,972,353.



Gambar 5. 10 Hasil ringkasan biaya distribusi untuk *single route*

Dengan prosedur yang sama, beberapa skenario optimasi juga dilakukan dengan tidak hanya mempertimbangkan *single route* namun juga dilakukan dengan memberikan alternative multiple route. Optimasi dilakukan untuk masing-masing kecepatan 10 knot, 11 knot, 12 knot, 13 knot, 14 knot dan juga dilakukan dengan mempertimbangkan seluruh variasi kecepatan. Untuk seluruh variasi kecepatan, seluruh rute (*single route* dan *multiple route*) yang dihasilkan oleh seluruh kapasitas kapal pada seluruh variasi kecepatan dipertimbangkan dan SPP akan memberikan solusi optimal berdasarkan seluruh alternatif rute yang diberikan sebagai input optimasi.

Berdasarkan seluruh alternatif rute (*single route* dan *multiple route*) untuk kecepatan 12 knot, Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 memperlihatkan hasil optimasi dengan SPP. Berdasarkan hasil optimasi dengan mempertimbangkan hanya 1 kecepatan kapal (12 knot) ada tiga buah kapal melakukan *multiple route* untuk melayani seluruh pembangkit yaitu:

- Kapal 2500 m³ yang melayani rute: Makassar-Kalsel-Makassar-Sumbawa-Bima-Makassar. Adapun jumlah trip yang dilakukan dalam setahun adalah 52 trip dengan total biaya distribusi dalam setahun adalah sebesar USD 6,310,799
- Kapal 1100 m³ yang melayani rute: Makassar-Lombok-Makassar-Maumere-Selayar-Makassar dengan jumlah trip per tahun adalah 52 kali. Adapun total biaya distribusi untuk rute ini dalam setahun adalah USD 4,438,858
- Kapal 110 m³ yang melayani rute: Makassar-Senipah-Makassar-Waingapu-Kupang-Flores-Makassar dengan jumlah trip per tahun 47 kali dengan biaya distribusi USD 4,964,467

Sehingga total biaya distribusi selama setahun adalah sebesar USD 15,712,123.

Rangkuman hasil optimasi pemilihan rute dengan mempertimbangkan seluruh tipe rute (*single route* dan *multiple route*) untuk seluruh variasi kecepatan dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 14 Hasil Optimasi SPP Skenario *Single Route* dan *Multiple Route* pada Kecepatan Kapal 12 knot (1)

| No | Routes | Time @ Terminal (incl. Hub) | Route Distance | Route time @ 12 knot | Total Route Time | Total Capacity Route 1 | Total Capacity Route 2 | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportati on Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost (\$/yr) | Decision Variables (Xijk) | Selected Routes |
|-----|----------------|--------------------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------|---|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | 0-1-0 | 24 | 474 | 39.50 | 63.50 | 341.38 | - | 341.38 | 1100 | 137.0 | 2,847,000 | 766,216 | 75,350 | 3,688,566 | 321,518 | 40,421 | 4,050,505 | - | - |
| 2 | 0-2-0 | 24 | 720 | 60.00 | 84.00 | 1,128.96 | - | 1,128.96 | 2500 | 104.0 | 3,805,490 | 1,601,496 | 130,000 | 5,536,986 | 121,183 | 121,264 | 5,779,433 | - | - |
| 3 | 0-3-0 | 24 | 614 | 51.17 | 75.17 | 288.64 | - | 288.64 | 1100 | 116.0 | 2,847,000 | 816,530 | 63,800 | 3,727,330 | 153,511 | 40,421 | 3,921,262 | - | - |
| 25 | 0-4-5-0 | 36 | 563 | 46.92 | 82.92 | 636.52 | - | 636.52 | 1100 | 105.0 | 2,847,000 | 720,338 | 86,625 | 3,653,963 | 356,426 | 80,843 | 4,091,231 | - | - |
| 26 | 0-4-6-0 | 36 | 753 | 62.75 | 98.75 | 454.88 | - | 454.88 | 1100 | 88.0 | 2,847,000 | 776,433 | 72,600 | 3,696,033 | 387,865 | 80,843 | 4,164,740 | - | - |
| 27 | 0-4-7-0 | 36 | 636 | 53.00 | 89.00 | 478.32 | - | 478.32 | 1100 | 98.0 | 2,847,000 | 746,217 | 80,850 | 3,674,067 | 459,725 | 80,843 | 4,214,635 | - | - |
| 28 | 0-4-8-0 | 36 | 870 | 72.50 | 108.50 | 749.77 | - | 749.77 | 1100 | 80.0 | 2,847,000 | 802,539 | 66,000 | 3,715,539 | 360,918 | 121,264 | 4,197,720 | - | - |
| 58 | 0-3-4-7-0 | 48 | 813 | 67.75 | 115.75 | 1,066.56 | - | 1,066.56 | 2500 | 75.0 | 3,805,490 | 1,304,103 | 187,500 | 5,297,093 | 664,383 | 202,107 | 6,163,582 | - | - |
| 59 | 0-3-4-8-0 | 48 | 1047 | 87.25 | 135.25 | 1,453.98 | - | 1,453.98 | 2500 | 64.0 | 3,805,490 | 1,433,134 | 160,000 | 5,398,624 | 601,505 | 242,528 | 6,242,657 | - | - |
| 60 | 0-3-4-9-0 | 48 | 1332 | 111.00 | 159.00 | 1,709.30 | - | 1,709.30 | 2500 | 55.0 | 3,805,490 | 1,566,848 | 137,500 | 5,509,838 | 556,593 | 242,528 | 6,308,959 | - | - |
| 382 | 0-1-3-0-5-8-0 | 72 | 1684 | 140.33 | 212.3 | 1956.9 | 1467.3 | 1956.9 | 2500 | 41.0 | 3,805,490 | 1,476,679 | 153,750 | 5,435,919 | 977,438 | 444,635 | 6,857,991 | - | - |
| 383 | 0-1-3-0-5-9-0 | 72 | 1967 | 163.92 | 235.9 | 2174.2 | 1630.3 | 2174.2 | 2500 | 37.0 | 3,805,490 | 1,556,561 | 138,750 | 5,500,801 | 932,525 | 485,056 | 6,918,382 | - | - |
| 384 | 0-1-3-0-5-10-0 | 72 | 1451 | 120.92 | 192.9 | 1777.9 | 888.6 | 1777.9 | 2500 | 45.0 | 3,805,490 | 1,396,497 | 168,750 | 5,370,737 | 941,508 | 323,371 | 6,635,615 | - | - |
| 641 | 0-2-0-3-9-0 | 60 | 2023 | 168.58 | 228.6 | 3072.2 | 1580.0 | 3072.2 | 7500 | 38.0 | 7,229,190 | 3,522,634 | 356,250 | 11,108,074 | 647,949 | 525,477 | 12,281,501 | - | - |
| 642 | 0-2-0-3-10-0 | 60 | 1480 | 123.33 | 183.3 | 2464.0 | 844.8 | 2464.0 | 7500 | 47.0 | 7,229,190 | 3,277,404 | 440,625 | 10,947,219 | 643,458 | 404,213 | 11,994,890 | - | - |
| 643 | 0-2-0-4-5-0 | 60 | 1283 | 106.92 | 166.9 | 2243.4 | 1281.4 | 2243.4 | 2500 | 52.0 | 3,805,490 | 1,426,888 | 162,500 | 5,394,878 | 511,707 | 404,213 | 6,310,799 | 1 | 6,310,799 |
| 644 | 0-3-0-8-10-0 | 60 | 1274 | 106.17 | 166.2 | 638.1 | 638.1 | 638.1 | 1100 | 52.0 | 2,847,000 | 774,875 | 71,500 | 3,693,375 | 541,376 | 202,107 | 4,436,858 | 1 | 4,436,858 |
| 645 | 0-3-0-9-10-0 | 60 | 1688 | 140.67 | 200.7 | 770.6 | 770.6 | 770.6 | 1100 | 43.0 | 2,847,000 | 824,660 | 59,125 | 3,730,785 | 523,411 | 202,107 | 4,456,303 | - | - |
| 890 | 0-1-0-5-6-7-0 | 72 | 1160 | 96.67 | 168.7 | 906.8 | 1036.0 | 1036.0 | 2500 | 51.0 | 3,805,490 | 1,265,285 | 191,250 | 5,262,025 | 1,107,684 | 282,949 | 6,652,658 | - | - |
| 891 | 0-1-0-5-6-8-0 | 72 | 1401 | 116.75 | 188.8 | 1014.7 | 1449.3 | 1449.3 | 2500 | 46.0 | 3,805,490 | 1,378,339 | 172,500 | 5,356,329 | 1,044,807 | 323,371 | 6,724,506 | - | - |
| 892 | 0-1-0-5-6-9-0 | 72 | 1514 | 126.17 | 198.2 | 1065.3 | 1521.6 | 1521.6 | 2500 | 44.0 | 3,805,490 | 1,424,750 | 165,000 | 5,395,240 | 999,894 | 323,371 | 6,718,504 | - | - |
| 893 | 0-1-0-5-6-10-0 | 72 | 1194 | 99.50 | 171.5 | 922.0 | 921.7 | 922.0 | 1100 | 51.0 | 2,847,000 | 735,582 | 84,150 | 3,666,732 | 925,772 | 282,949 | 4,875,453 | - | - |
| 894 | 0-1-0-5-7-8-0 | 72 | 1237 | 103.08 | 175.1 | 941.2 | 1478.8 | 1478.8 | 2500 | 50.0 | 3,805,490 | 1,322,817 | 187,500 | 5,315,807 | 1,116,667 | 323,371 | 6,755,844 | - | - |
| 895 | 0-1-0-5-9-7-0 | 72 | 1556 | 129.67 | 201.7 | 1084.2 | 1703.3 | 1703.3 | 2500 | 43.0 | 3,805,490 | 1,430,995 | 161,250 | 5,397,735 | 1,071,754 | 323,371 | 6,792,860 | - | - |
| 896 | 0-1-0-5-7-10-0 | 72 | 1054 | 87.83 | 159.8 | 859.3 | 981.7 | 981.7 | 1100 | 54.0 | 2,847,000 | 700,755 | 89,100 | 3,636,855 | 997,632 | 282,949 | 4,917,436 | - | - |
| 897 | 0-1-0-5-9-8-0 | 72 | 1798 | 149.83 | 221.8 | 1192.6 | 2214.4 | 2214.4 | 2500 | 39.0 | 3,805,490 | 1,499,734 | 146,250 | 5,451,474 | 1,008,877 | 404,213 | 6,864,564 | - | - |
| 898 | 0-1-0-5-8-10-0 | 72 | 1267 | 105.58 | 177.6 | 954.7 | 1363.5 | 1363.5 | 2500 | 49.0 | 3,805,490 | 1,327,800 | 183,750 | 5,317,040 | 1,017,859 | 323,371 | 6,658,270 | - | - |
| 899 | 0-1-0-5-9-10-0 | 72 | 1592 | 132.67 | 204.7 | 1100.3 | 1571.5 | 1571.5 | 2500 | 42.0 | 3,805,490 | 1,430,054 | 157,500 | 5,393,044 | 972,946 | 323,371 | 6,689,361 | - | - |
| 900 | 0-1-0-6-7-8-0 | 72 | 1360 | 113.33 | 185.3 | 996.4 | 996.4 | 996.4 | 2500 | 47.0 | 3,805,490 | 1,367,089 | 176,250 | 5,348,829 | 1,148,106 | 282,949 | 6,779,884 | - | - |
| 901 | 0-1-0-6-9-7-0 | 72 | 1334 | 111.17 | 183.2 | 984.7 | 984.7 | 984.7 | 1100 | 47.0 | 2,847,000 | 745,862 | 77,550 | 3,670,412 | 1,011,106 | 282,949 | 4,964,467 | 1 | 4,964,467 |

15,712,123

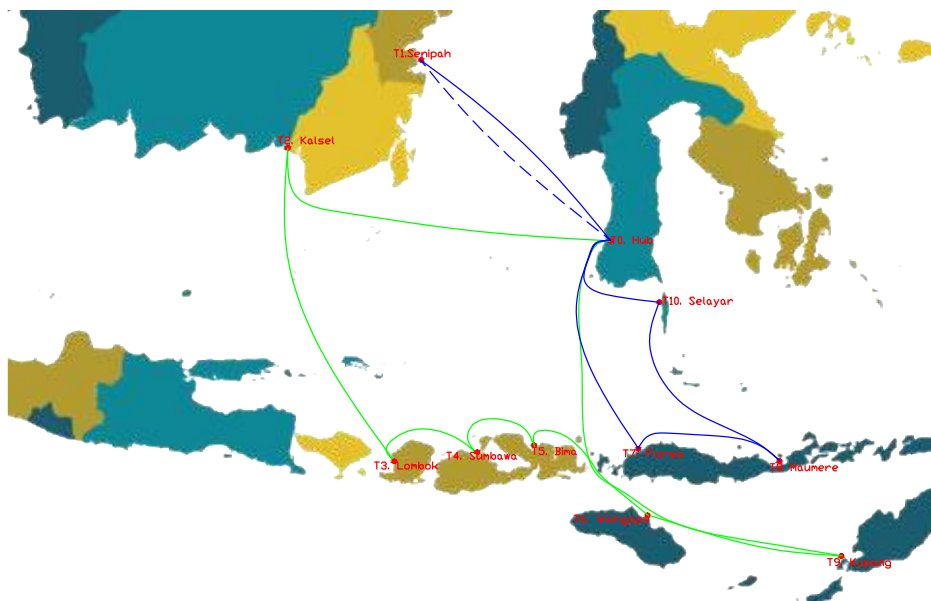
Tabel 5. 15 Hasil Optimasi SPP Skenario *Single Route* dan *Multiple Route* pada Kecepatan Kapal 12 knot (2)

| No | Routes | Hub | Terminal LNG | | | | | | | | | | Total Transportation Cost (\$/yr) | Total Jetty Investation (\$/yr) | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost (\$/yr) | Decision Variables (Xijk) | Selected Routes | |
|-----|----------------|----------|--------------|----------|--------|---------|------|----------|------------|---------|----------|---------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------|------------|
| | | Makassar | Senipah | Kalsel P | Lombok | Sumbawa | Bima | Waingapu | MPP Flores | Maumere | Kupang P | Selayar | | | | | | | |
| | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | | | | | | | |
| 1 | 0-1-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,688,566 | 321,518 | 40,421 | 4,050,505 | - | - | |
| 2 | 0-2-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,536,986 | 121,183 | 121,264 | 5,779,433 | - | - | |
| 3 | 0-3-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,727,330 | 153,511 | 40,421 | 3,921,262 | - | - | |
| 25 | 0-4-5-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,653,963 | 356,426 | 80,843 | 4,091,231 | - | - | |
| 26 | 0-4-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,696,033 | 387,865 | 80,843 | 4,164,740 | - | - | |
| 27 | 0-4-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3,674,067 | 459,725 | 80,843 | 4,214,635 | - | - | |
| 28 | 0-4-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3,715,539 | 360,918 | 121,264 | 4,197,720 | - | - | |
| 58 | 0-3-4-7-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5,297,093 | 664,383 | 202,107 | 6,163,582 | - | - | |
| 59 | 0-3-4-8-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5,398,624 | 601,505 | 242,528 | 6,242,657 | - | - | |
| 60 | 0-3-4-9-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5,509,838 | 556,593 | 242,528 | 6,308,959 | - | - | |
| 382 | 0-1-3-0-5-8-0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5,435,919 | 977,438 | 444,635 | 6,857,991 | - | - | |
| 383 | 0-1-3-0-5-9-0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5,500,801 | 932,525 | 485,056 | 6,918,382 | - | - | |
| 384 | 0-1-3-0-5-10-0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5,370,737 | 941,508 | 323,371 | 6,635,615 | - | - | |
| 641 | 0-2-0-3-9-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 11,108,074 | 647,949 | 525,477 | 12,281,501 | - | - | |
| 642 | 0-2-0-3-10-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10,947,219 | 643,458 | 404,213 | 11,994,890 | - | - | |
| 643 | 0-2-0-4-5-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,394,878 | 511,707 | 404,213 | 6,310,799 | 1 | 6,310,799 | |
| 644 | 0-3-0-8-10-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 3,693,375 | 541,376 | 202,107 | 4,436,858 | 1 | 4,436,858 | |
| 645 | 0-3-0-9-10-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 3,730,785 | 523,411 | 202,107 | 4,456,303 | - | - | |
| 890 | 0-1-0-5-6-7-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 5,262,025 | 1,107,684 | 282,949 | 6,652,658 | - | - | |
| 891 | 0-1-0-5-6-8-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5,356,329 | 1,044,807 | 323,371 | 6,724,506 | - | - | |
| 892 | 0-1-0-5-6-9-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 5,395,240 | 999,894 | 323,371 | 6,718,504 | - | - | |
| 893 | 0-1-0-5-6-10-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3,666,732 | 925,772 | 282,949 | 4,875,453 | - | - | |
| 894 | 0-1-0-5-7-8-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5,315,807 | 1,116,667 | 323,371 | 6,755,844 | - | - | |
| 895 | 0-1-0-5-9-7-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 5,397,735 | 1,071,754 | 323,371 | 6,792,860 | - | - | |
| 896 | 0-1-0-5-7-10-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3,636,855 | 997,632 | 282,949 | 4,917,436 | - | - | |
| 897 | 0-1-0-5-9-8-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 5,451,474 | 1,008,877 | 404,213 | 6,864,564 | - | - | |
| 898 | 0-1-0-5-8-10-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5,317,040 | 1,017,859 | 323,371 | 6,658,270 | - | - | |
| 899 | 0-1-0-5-9-10-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 5,393,044 | 972,946 | 323,371 | 6,689,361 | - | - | |
| 900 | 0-1-0-6-7-8-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5,348,829 | 1,148,106 | 282,949 | 6,779,884 | - | - | |
| 901 | 0-1-0-6-9-7-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3,670,412 | 1,011,106 | 282,949 | 4,964,467 | 1 | 4,964,467 | |
| | | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 15,712,123 |

Tabel 5. 16 Rangkuman Pemilihan Route yang Optimal pada Seluruh Tipe Route dan Variasi Kecepatan

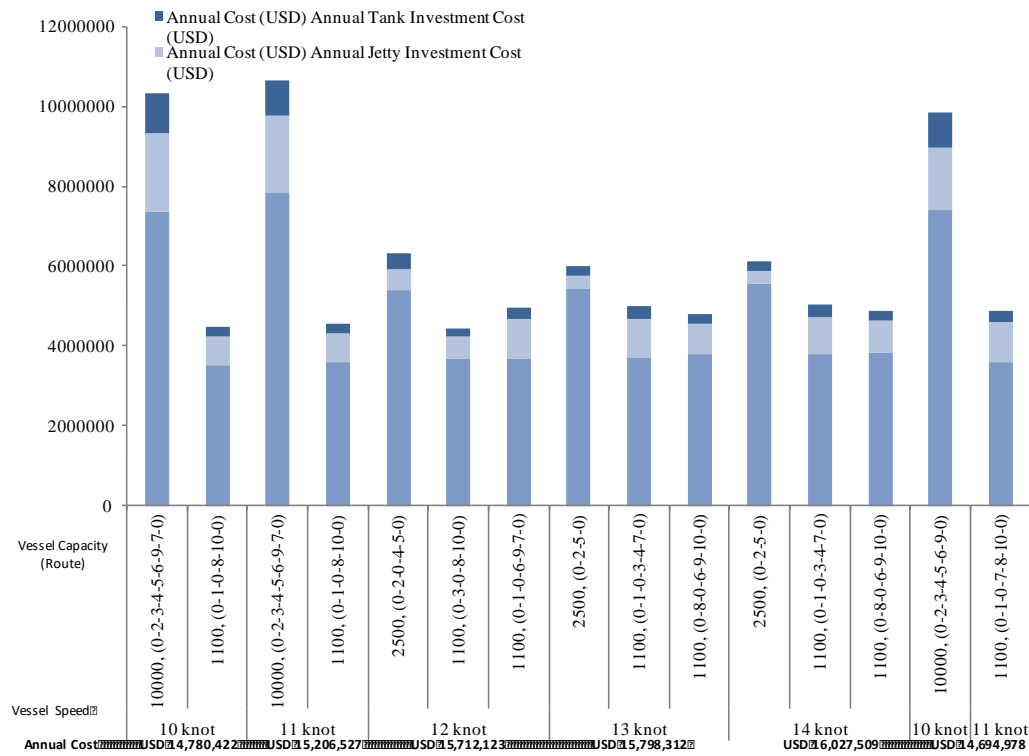
| Vessel Speed (Knot) | Selected Routes | Route Type | Vessel Capacity (m3) | Annual Cost (USD) | | | Total Annual Cost (USD) | |
|---------------------|-------------------|----------------|----------------------|-------------------|---------|---------|-------------------------|----------|
| | | | | Transport | Jetty | Tank | | |
| 10 | 0-2-3-4-5-6-9-7-0 | Single Route | 10000 | 7357658 | 1951205 | 1010533 | 10319397 | 14780422 |
| | 0-1-0-8-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3509115 | 709383 | 242528 | 4461026 | |
| 11 | 0-2-3-4-5-6-9-7-0 | Single Route | 10000 | 7822239 | 1951205 | 889269 | 10662713 | 15206527 |
| | 0-1-0-8-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3591902 | 709383 | 242528 | 4543813 | |
| 12 | 0-2-0-4-5-0 | Multiple Route | 2500 | 5394878 | 511707 | 404213 | 6310799 | 15712123 |
| | 0-3-0-8-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3693375 | 541376 | 202107 | 4436858 | |
| | 0-1-0-6-9-7-0 | Multiple Route | 1100 | 3670412 | 1011106 | 282949 | 4964467 | |
| 13 | 0-2-5-0 | Single Route | 2500 | 5438029 | 327673 | 242528 | 6008230 | 15798312 |
| | 0-1-0-3-4-7-0 | Multiple Route | 1100 | 3730367 | 934754 | 323371 | 4988492 | |
| | 0-8-0-6-9-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3774349 | 784713 | 242528 | 4801590 | |
| 14 | 0-2-5-0 | Single Route | 2500 | 5550846 | 327673 | 242528 | 6121047 | 16027509 |
| | 0-1-0-3-4-7-0 | Multiple Route | 1100 | 3784619 | 934754 | 323371 | 5042744 | |
| | 0-8-0-6-9-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3836478 | 784713 | 242528 | 4863719 | |
| 10 | 0-2-3-4-5-6-9-0 | Single Route | 10000 | 7390601 | 1591275 | 848848 | 9830725 | 14694978 |
| 11 | 0-1-0-7-8-10-0 | Multiple Route | 1100 | 3579181 | 1002123 | 282949 | 4864253 | |

Tabel 5.16 memperlihatkan pemilihan rute yang optimal untuk seluruh tipe rute dan variasi kecepatan kapal. Jika hanya mempertimbangkan satu variasi kecepatan kapal, maka skenario kecepatan kapal 10 knot memberikan total biaya distribusi per tahun yang paling minimal. Sedangkan jika mempertimbangkan seluruh kapal pada seluruh variasi kecepatan, maka rute yang memberikan biaya distribusi terkecil adalah dengan mengoperasikan satu kapal dengan ukuran 10,000 m³ pada kecepatan 10 knot pada rute tunggal dan satu kapal dengan kapasitas 1,100 m³ pada kecepatan 11 knot dengan rute jamak. Ilustrasi rute kapal dapat dilihat pada Gambar 5. 11.



Gambar 5. 11 Ilustrasi Optimal *Single Route* dan *Multiple Route*

Total biaya distribusi untuk semua rute yang optimal untuk seluruh tipe rute dan variasi kecepatan kapal yang terdapat pada Tabel 5.16 dapat dilihat pada Gambar 5. 12. Terlihat bahwa untuk *single route* dan *multiple route* yang optimal memiliki total biaya yang paling rendah yaitu USD 14,694, 978.



Gambar 5. 12 Hasil ringkasan biaya distribusi untuk *single route* dan *multiple route*

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada studi ini terdapat dua tujuan dalam yaitu memilih tipe terminal penerima LNG yang akan diaplikasikan di Makassar dan menentukan desain distribusi LNG yang optimal untuk wilayah Indonesia Bagian Tengah. Untuk kedua tujuan tersebut kombinasi metode MCDM yaitu AHP dan PROMETHEE digunakan untuk pemilihan tipe terminal penerima LNG di Makassar sedangkan desain distribusi dilakukan melalui tiga tahap metode yaitu 1) menentukan single route, 2) mengkombinasikan single route yang dihasilkan tahap 1 menjadi multiple route, dan 3) memilih rute yang optimal dengan menggunakan SPP. Berdasarkan metode yang diusulkan dalam tesis ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemilihan tipe terminal penerima LNG dilakukan dengan menggunakan kombinasi metode MCDM yaitu AHP dan PROMETHEE. Proses pemilihan ini mempertimbangkan 5 kriteria yang berbeda yaitu: biaya, teknis, sosial, keselamatan, dan operasional. Tiga alternatif yang digunakan sebagai konsep yang akan diterapkan untuk terminal penerima LNG di Makassar yaitu: *FSU and Onshore Regasification*, *FSRU*, dan *Onshore Terminal*. Dengan mempertimbangkan keempat kriteria dan subkriteria yang sudah ditetapkan, maka didapatkan bahwa alternative dengan menggunakan konsep *Floating Storage Regasification Unit (FSRU)* terpilih untuk diterapkan sebagai terminal penerima LNG di Makassar.
2. Terdapat 3 kesimpulan yang bias didapatkan dari adanya proses optimasi desain distribusi LNG di Indonesia Bagian Tengah seperti berikut ini:
 - a. Desain rute distribusi dilakukan dengan mempertimbangkan kapal dapat melakukan single route dan multiple route. Desain rute optimal dimana kapal hanya dapat melakukan single route, dibutuhkan dua buah kapal masing-masing dengan kapasitas 10000 m³ pada kecepatan 10 knot yang melayani rute Makassar-Senipah-Kalsel-Lombok-Sumbawa-Bima-Maumere-Makassar dan kapal dengan kapasitas 1100 m³ pada kecepatan

11 knot yang melayani rute Makassar-Waingapu-Kupang-Flores-Selayar-Makassar adalah kombinasi yang memberikan total biaya distribusi LNG yang paling minimal dengan total biaya distribusi per tahun adalah USD 14,972,353.

- b. Dengan mempertimbangkan bahwa kapal dapat melakukan multiple route dalam operasinya, maka solusi optimal diperoleh dengan mengoperasikan dua kapal masing-masing dengan ukuran 10000 m³ pada kecepatan 10 knot dengan melakukan single route: Makassar-Kalsel-Lombok-Sumbawa-Bima-Waingapu-Kupang-Makassar dan kapal 1100 m³ pada kecepatan 11 knot melayani rute Makassar-Senipah-Makassar-Flores-Maumere-Selayar-Makassar adalah kombinasi yang memberikan total biaya distribusi LNG yang paling minimal dengan total biaya distribusi per tahun adalah USD 14,694,978.
- c. Algoritma yang dikembangkan dengan mempertimbangkan kapal dapat melakukan multiple trip dalam operasinya terbukti dapat dijadikan salah satu metode yang diimplementasikan untuk mendesain distribusi LNG skala kecil dimana kebutuhan (*demand*) akan tersebar dalam suatu wilayah dengan kapasitas yang kecil. Algoritma ini berpotensi diimplementasikan untuk mendesain pola distribusi LNG pada wilayah yang memiliki karakteristik yang sama seperti distribusi LNG di wilayah Indonesia Bagian Tengah.

6.2 Saran

Terdapat beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Pada saat melakukan pembagian kuisioner, sebaiknya diperhatikan responden yang terlibat. Karena hasil dari pemilihan, sangat bergantung pada kuisioner yang telah diisi oleh responden.
2. Pembuatan kriteria dan subkriteria dapat lebih disesuaikan dengan keadaan yang terbaru dan terus berkembang.

3. Dalam melakukan proses optimasi, komponen biaya merupakan inputan yang paling penting. Sehingga, perhitungan komponen biaya disarankan untuk sangat detail dan mengurangi asumsi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Agarwal, P. *et al.* (2014) ‘Supplier Selection in Dynamic Environment using Analytic Hierarchy Process’, *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 4(August), pp. 20–26. doi: 10.5815/ijieeb.2014.04.03.

Antara, D. S. (2017) *Optimasi dan Analisa Keekonomian Distribusi LNG ke Pembangkit di Wilayah Papua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Auliya Rahmayani, M. I. I. (2016) ‘Perancangan dan Implementasi Perangkat Kriteria Menggunakan Metode AHP’, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(Sistem Pendukung Keputusan).

BPPT (2016) *Outlook Energi Indonesia 2016: Pengembangan Energi untuk Mendukung Industri Hijau*. Jakarta: Perpustakaan Nasional RI.

BPS (2017) *Laporan Bulanan Data Sosial Ekonomi*. Jakarta. doi: ISSN2087-930X.

Brans, J. P. and Vincke, P. (1985) ‘A Preference Ranking Organisation Method: (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision-Making)’, *Management Science*, 31(6), pp. 647–656.

Christiansen, M., Fagerholt, K. and Ronen, D. (2004) ‘Ship Routing and Scheduling : Status and Perspectives’, *Transportation Science*, 38(1), pp. 1–18. doi: 10.1287/trsc. 1030.0036.

Dewangga, C. (2016) *OPTIMASI DISTRIBUSI LNG UNTUK PEMBANGKIT DI KEPULAUAN MALUKU*.

Dinariyana A.A.B., A Study on Herterogenous Ship Routing Problem with Multiple Trip and Pickup-Delivery in a Hub-and-Spokes Environment, Master Thesis, The University of Tokyo, 2003.

Dirjen Migas (2015) *Rencana Strategis 2015-2019*. Jakarta.

Fagerholt, K. (1999) ‘Optimal fleet design in a ship routing problem’, *International Transactions in Operational Research*. Blackwell Publishing Ltd, 6(5), pp. 453–464. doi: 10.1111/j.1475-3995.1999.tb00167.x.

Fisher, M. L. and Rosenwein, M. B. (1989) 'An interactive optimization system for bulk-cargo ship scheduling', *Naval Research Logistics (NRL)*. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 36(1), pp. 27–42. doi: 10.1002/1520-6750(198902)36:1<27::AID-NAV3220360103>3.0.CO;2-0.

Golden, B. L., Magnanti, T. L. and Nguyen, H. Q. (1977) 'Implementing vehicle routing algorithms', *Networks*. Wiley Subscription Services, Inc., A Wiley Company, 7(2), pp. 113–148. doi: 10.1002/net.3230070203.

Hennet, J.-C. (2009) 'Supply Chain Dynamics', *Simulation-Based Case Studies in Logistics*, (August), pp. 35–48. doi: 10.1007/978-1-84882-187-3.

International Gas Union (2015) *Small Scale LNG, Small Scale LNG*. Paris. Available at: <http://small-lng.com/>.

Jokinen, R., Pettersson, F. and Saxén, H. (2015) 'An MILP model for optimization of a small-scale LNG supply chain along a coastline', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 138, pp. 423–431. doi: 10.1016/j.apenergy.2014.10.039.

Kementerian ESDM (2017) *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. Perusahaan Listrik Negara Tahun 2017 s.d. 2026*. Jakarta.

Khamehchi, E., Khishvand, M. and Abdolhosseini, H. (2016) 'A case study to optimum selection of deliquification method for gas condensate well design: South Pars gas field', *Ain Shams Engineering Journal*. Faculty of Engineering, Ain Shams University, 7(2), pp. 847–853. doi: 10.1016/j.asej.2015.12.011.

Lemantara, J., Setiawan, N. A. and Aji, M. N. (2013) 'Rancang Bangun Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Mahasiswa Berprestasi Menggunakan Metode AHP dan Promethee', *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 2(4), pp. 20–28.

LPEM-UI (2005) *Dampak Pembangunan Infrastruktur terhadap Pertumbuhan Ekonomi*.

Macharis, C. *et al.* (2004) 'PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis . Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP', 153, pp. 307–317. doi: 10.1016/S0377-2217(03)00153-X.

Oka, M. *et al.* (2016) 'Offshore Deployment of LNG supply chain - Floating LNG Infrastructure -', *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*, 53(2), pp. 19–23.

PTTLNG (2009) *LNG Value Chain*.

Rahardjo, J., Stok, R. E. and Yustina, R. (2000) 'Penerapan Multi-Criteria Decision Making Dalam', *Jurnal Teknik Industri*, 2, pp. 1–12.

Raj, R. *et al.* (2016) 'A techno-economic study of shipping LNG to the Asia-Pacific from Western Canada by LNG carrier', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 34, pp. 979–992.

Ronen, D. (1983) 'Cargo ships routing and scheduling : Survey of models and problems', *European Journal of Operational Research*, 12(4), pp. 119–126.

Ronen, D. (1995) 'Dispatching Petroleum Products', *Operation Research*, 43(3), p. 379.

Soegiono and Artana, K. B. (2006) 'Transportasi LNG di Indonesia', in. Surabaya: Airlangga University Press.

Sudrajat, D. F., Rispiana and Novirani, D. (2013) 'Usulan Penentuan Rangka Supplier Bahan Baku Baja dengan Metode Promethee (Studi Kasus PT . PINDAD PERSERO) *', *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 1(2), pp. 204–215. doi: ISSN: 2338-5081.

Suprayogi, Yamato, H. and Iskendar, Ship Routing Design for the Oily Liquid Waste Collection, *Journal of the Society of Naval Architects of Japan* 190 (2001), 325-335.

T.L., S. (1977) 'A scaling method for priorities in hierarchical structures', *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 59–62.

T.L., S. (1980) 'The analytic hierarchy process', in. New York: McGraw-Hill.

Zhaoxu, S. and Min, H. (2010a) 'Multi-criteria Decision Making Based on PROMETHEE Method', *International Conference on Computing, Control and*

Industrial Engineering, pp. 416–418. doi: 10.1109/CCIE.2010.110.

Zhaoxu, S. and Min, H. (2010b) ‘Multi-Criteria decision making based on PROMETHEE method’, in *International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering*, pp. 2–4. doi: 10.1109/CCIE.2010.110.

LAMPIRAN I

PEMILIHAN TIPE TERMINAL PENERIMA LNG

1. Kuisisioner Bagian 1

Kuisisioner Pembobotan

Pemilah Tipe Terminal Penerima LNG di Makassar

Nama :

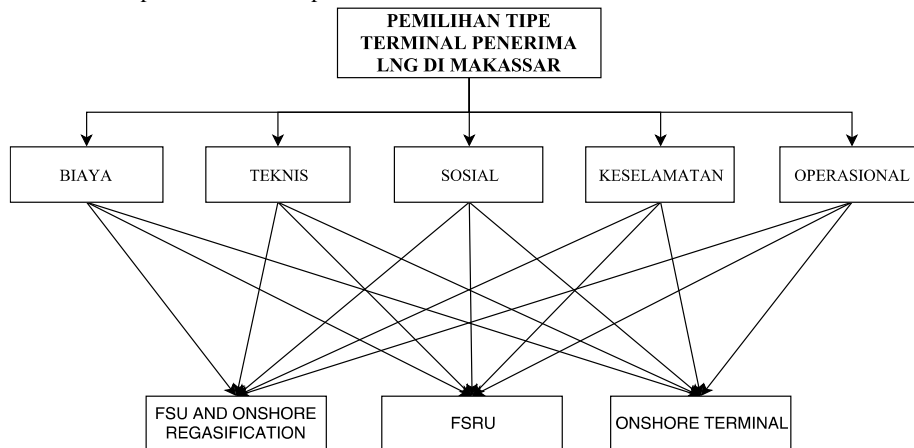
Pekerjaan :

Desain distribusi LNG ke 50 pembangkit yang berada di wilayah Indonesia bagian Tengah direncanakan akan menggunakan Makassar sebagai hub terminal LNG. Dari terminal tersebut, LNG akan diangkut menggunakan mini LNG carrier menuju ke masing-masing pembangkit yang telah ditentukan. Untuk menentukan tipe Terminal LNG yang akan digunakan di Makassar, maka digunakan penggabungan metode AHP (Analytical Hierarchy Process). Kriteria yang terdapat pada pemilihan ini harus mampu menjamin bahwa proses rantai pasok dari supply hingga ke end user dapat dilayani dengan efisien dalam segi kemudahan, keamanan, dan biaya.

Beberapa Alternatif tersebut yaitu:

1. Teminal LNG Terapung (FSU-*Floating Storage Unit*) dengan unit regasifikasi di darat
2. Terminal LNG dan Regasifikasi Terapung (FSRU - *Floating Storage Regasification Unit*)
3. Terminal LNG di darat (*onshore LNG terminal*)

Berikut merupakan hirarki dari pemilihan terminal LNG di Makassar



Penilaian bobot ini digunakan untuk mengetahui bobot pada masing-masing kriteria, dimana setiap kriteria tersebut juga memiliki beberapa sub kriteria. Pengisian kuisisioner ini dilakukan dengan cara melingkari angka yang merepresentasikan tingkat kepentingan dari setiap kriteria dibanding kriteria lain maupun sub kriteria dengan sub kriteria lain yang ada.

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| X | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Y |
| | | | | | | | | | | |

Dari contoh diatas berarti kriteria/ sub kriteria X lebih penting dibanding kriteria/ sub kriteria Y

1) Pembobotan untuk kriteria

Berikut ini penjelasan tentang masing-masing sub kriteria :

a. Ekonomi (*Economic*)

Penilaian ini didasarkan pada aspek ekonomi. Dimana aspek ekonomi ini merupakan besarnya biaya yang harus dikeluarkan dari adanya pembangunan terminal penerima LNG yang ada di Makassar.

b. Teknis (*Technical*)

Kriteria yang didasarkan pada aspek teknis pada terminal penerima LNG. Aspek teknis merupakan kesiapan teknologi terhadap terminal penerima LNG yang akan dibangun. Karena suatu fasilitas Terminal LNG di desain dengan umur peralatan yang dirancang dan dibangun adalah minimum 20 tahun.

c. Sosial (*Social*)

Pada beberapa tahun ini, faktor yang juga sangat perlu diperhatikan yaitu kondisi sosial masyarakat. Karena pada dasarnya, yang akan dirugikan dan diuntungkan adalah masyarakat sekitar. Maka perlu diperhatikan apakah pembangunan terminal ini akan berdampak baik atau buruk terhadap masyarakat sekitar. beberapa kondisi sosial yaitu sosial perijinan, pada pembangunan, pada operasional.

d. Keselamatan (*Safety*)

Penilaian ini didasarkan pada aspek keselamatan dari adanya pembangunan terminal penerima LNG baik terminal di darat maupun terapung. Kriteria keselamatan ini terdiri dari beberapa hal yaitu Keselamatan publik, keselamatan lingkungan, keselamatan operasional, dan keamanan fasilitas.

d. Operasional (*Operational*)

Penilaian kriteria ini didasarkan pada kondisi operasional. Operasional yang dimaksudkan yaitu selama terminal penerima LNG ini beroperasi.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------|
| Economic | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Technical |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Economic | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Social |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------|
| Economic | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Safety |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| Economic | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Operational |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------|
| Technical | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Social |
| | | | | | | | | | | |
| Technical | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Safety |
| | | | | | | | | | | |
| Technical | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Operational |
| | | | | | | | | | | |
| Social | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Safety |
| | | | | | | | | | | |
| Social | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Operasional |
| | | | | | | | | | | |
| Safety | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Operasional |
| | | | | | | | | | | |

2) Pembobotan untuk sub kriteria pada kriteria "Economic"

Berikut ini penjelasan tentang masing-masing sub kriteria :

a. Biaya Investasi

Sub kriteria ini merupakan kebutuhan biaya untuk investasi apabila melakukan pembangunan terminal di darat maupun terminal terapung. Terminal LNG di darat tentunya memiliki investasi yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan terminal LNG terapung, dengan mempertimbangkan mahalnya harga tanah dan sulitnya proses pembebasan lahan di kota kota besar seperti Makassar.

b. Biaya Perijinan

Sub kriteria ini merupakan kebutuhan biaya perijinan yang diperlukan untuk membangun suatu terminal penerima LNG di darat maupun terapung. Karena pada saat perijinan maka harus dilakukan pembebasan lahan baik di laut maupun di darat. Terminal LNG di darat membutuhkan ijin yang lebih rumit jika dibandingkan dengan terminal terapung yang berada pada jarak tertentu dari daratan.

c. Biaya Operasional dan Perawatan

Biaya operasional yang dimaksudkan yaitu biaya yang harus dikeluarkan selama terminal penerima LNG ini dioperasikan baik di darat maupun terapung. Terminal LNG di darat memiliki kecenderungan kebutuhan biaya perawatan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan terminal terapung. Disamping karena faktor lingkungan, perawatan fasilitas di darat akan jauh lebih sederhana jika dibandingkan dengan merawat fasilitas terapung di laut.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|-------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-------------------|
| Biaya Investasi | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Biaya Perijinan |
| | | | | | | | | | | |
| Biaya Investasi | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Biaya Operasional |
| | | | | | | | | | | |
| Biaya Operasional | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Biaya Perijinan |
| | | | | | | | | | | |

3) Pembobotan untuk sub kriteria pada kriteria "Social"

Berikut ini penjelasan tentang masing-masing sub kriteria :

a. Sosial Perijinan

Kondisi sosial masyarakat dalam memberikan perijinan terhadap pembangunan terminal penerima LNG yang akan dilokasikan di Makassar.

c. Sosial Pembangunan

Kondisi sosial masyarakat pada saat dilakukan pembangunan terminal penerima LNG. Jika pada *onshore terminal* kemungkinan akan lebih mengganggu sosial masyarakat karena dibutuhkan akses selama proses pembangunan.

d. Sosial Operasional

Selama terminal penerima LNG beroperasi, diharapkan kondisi sosial masyarakat sekitar tidak terganggu oleh adanya terminal penerima LNG ini.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------|
| Sosial Perijinan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Sosial Pembangunan |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------|
| Sosial Perijinan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Sosial Operasional |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------|
| Sosial Pembangunan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Sosial Operasional |
| | | | | | | | | | | |

3) Pembobotan untuk sub kriteria pada kriteria "Technical"

Berikut ini penjelasan tentang masing-masing sub kriteria :

a. Kompleksitas Peralatan

Kompleksitas sistem yang dimaksud disini adalah tingkat kerumitan sistem yang ada pada terminal terapung dan terminal LNG di darat

c. Keterujian/ Keandalan Teknologi

Teknologi yang akan digunakan pada terminal penerima LNG perlu diperhatikan sehingga keterujian teknologi perlu dilakukan penilaian. Karena dengan menggunakan teknologi yang handal maka menjamin fasilitas tersebut akan memiliki *lifetime* yang baik.

d. Akses Pekerja/ Crew

Sub atribut ini didasarkan pada akses pekerja di terminal penerima LNG lebih memudahkan di terminal penerima LNG di darat atau terapung.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------|
| Kompleksitas Peralatan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keterujian Teknologi |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------|
| Kompleksitas Peralatan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Akses Pekerja/ Crew |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---------------------|
| Keterujian Teknologi | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Akses Pekerja/ Crew |
| | | | | | | | | | | |

4) Pembobotan untuk sub kriteria pada kriteria "Safety"

Berikut ini penjelasan tentang kriteria :

a. Keselamatan Operasional

Sub kriteria ini memiliki pengertian bahwa tipe terminal LNG yang akan terpilih harus menjamin keselamatan selama terminal tersebut beroperasi baik pada fasilitas itu sendiri maupun sekitar fasilitas.

b. Keselamatan Publik

Pada sub kriteria ini dimaksudkan bahwa terminal penerima LNG yang terpilih harus mampu menjamin keselamatan publik baik di aerea terminal maupun sekitar fasilitas. Terminal terapung akan diposisikan di laut sehingga jauh dari keberadaan masyarakat umum. Sedangkan Terminal LNG di darat akan memberi dampak atas keselamatan umum yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan terminal terapung.

c. Keselamatan Lingkungan

Sub kriteria ini memiliki pengertian bahwa tipe terminal LNG yang terpilih harus menjamin bahwa fasilitas tersebut aman terhadap lingkungan baik di laut maupun di darat. Terminal terapung karena berada di laut, maka akan lebih sensitif atas dampak pada lingkungan laut. Sementara itu, terminal LNG di darat, akan lebih berdampak pada lingkungan di darat.

d. Keamanan Fasilitas

Terminal LNG adalah fasilitas yang membutuhkan tingkat keamanan yang tinggi. Sehingga, terminal penerima LNG yang akan terpilih baik di darat maupun terapung harus mampu menjamin bahwa fasilitas aman. Terminal terapung memberikan jaminan kewanaman yang lebih baik jika dibandingkan dengan terminal LNG di darat mengingat terminal terapung jauh dari jangkauan publik, sehingga gangguan keamanan diyakini menjadi lebih kecil.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------------------------|
| Keselamatan Operasional | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keselamatan Publik |
| | | | | | | | | | | |
| Keselamatan Operasional | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keselamatan Lingkungan |
| | | | | | | | | | | |
| Keselamatan Operasional | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keamanan Fasilitas |
| | | | | | | | | | | |
| Keselamatan Publik | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keselamatan Lingkungan |
| | | | | | | | | | | |
| Keselamatan Publik | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keamanan Fasilitas |
| | | | | | | | | | | |
| Keselamatan Lingkungan | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Keamanan Fasilitas |
| | | | | | | | | | | |

5) Pembobotan untuk sub kriteria pada kriteria "Operational"

Berikut ini penjelasan tentang kriteria :

a. Mobilitas Fasilitas

Sub kriteria ini memiliki pengertian bahwa tipe terminal LNG yang akan terpilih harus menjamin bahwa mobilitas fasilitas bersifat fleksibel atau memudahkan.

b. Kemudahan Offloading

Kemudahan offloading merupakan salah satu kriteria yang dimaksudkan untuk menilai apakah lebih mudah proses offloading di terminal darat atau terapung. Sistem *offloading* dari kapal ke kapal (*Ship To Ship*) memiliki tingkat kesulitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan dari kapal ke darat.

c. Kemudahan Operasional

Sub kriteria ini memiliki pengertian bahwa tipe terminal LNG yang terpilih harus menjamin bahwa pengoperasian fasilitas dapat dilakukan dengan mudah.

d. Ketersediaan Suku Cadang

Pada sub kriteria ini memiliki pengertian bahwa suku cadang selama proses operasional sangat diperlukan apabila komponen pada sistem baik pada terminal terapung maupun terminal di darat mengalami kegagalan.

Berdasarkan penjelasan diatas, silahkan isi kuisioner dibawah ini :

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------|
| Mobilitas Fasilitas | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Kemudahan Offloading |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Mobilitas Fasilitas | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Kemudahan Operasional |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------|
| Mobilitas Fasilitas | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Ketersediaan Suku Cadang |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----------------------|
| Kemudahan Offloading | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Kemudahan Operasional |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------|
| Kemudahan Offloading | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Ketersediaan Suku Cadang |
| | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--------------------------|
| Kemudahan Operasional | 9 | 7 | 5 | 3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | Ketersediaan Suku Cadang |
| | | | | | | | | | | |

2. Kuisisioner Bagian 2

Pemilihan Tipe Terminal LNG di Makassar

Terdapat 4 alternatives yang dapat dipilih, yaitu:

1. Teminal LNG Terapung (FSU-*Floating Storage Unit*) dengan unit regasifikasi di darat
2. Terminal LNG dan Regasifikasi Terapung (FSRU - *Floating Storage Regasification Unit*)
3. Terminal LNG di darat (*onshore LNG terminal*)

Maka, berilah penilaian dari masing-masing kriteria pada setiap alternatif yang tersedia:

| Penilaian | Keterangan |
|-----------|--------------|
| 1 | Sangat buruk |
| 2 | Buruk |
| 3 | Cukup |
| 4 | Baik |
| 5 | Sangat Baik |

1. Alternatif terhadap subkriteria dari "Ekonomi"

| | FSU - ONSHORE REGASIFICATION | FSRU | ONSHORE TERMINAL |
|-------------------|---------------------------------|------|---------------------|
| Biaya Investasi | | | |
| Biaya Perijinan | | | |
| Biaya Operasional | | | |

2. Alternatif terhadap subkriteria dari "Teknis"

| | FSU - ONSHORE REGASIFICATION | FSRU | ONSHORE TERMINAL |
|------------------------------------|---------------------------------|------|---------------------|
| Kompleksitas Peralatan | | | |
| Keterujian/ Keandalan Teknologi | | | |
| Akses Pekerja/ <i>crew</i> | | | |

3. Alternatif terhadap subkriteria dari "Sosial"

| | FSU - ONSHORE REGASIFICATION | FSRU | ONSHORE TERMINAL |
|--------------------|---------------------------------|------|---------------------|
| Sosial Perijinan | | | |
| Sosial Pembangunan | | | |
| Sosial Operasional | | | |

4. Alternatif terhadap subkriteria dari "Keselamatan"

| | FSU - ONSHORE REGASIFICATION | FSRU | ONSHORE TERMINAL |
|-------------------------|---------------------------------|------|---------------------|
| Keselamatan Operasional | | | |
| Keselamatan Publik | | | |
| Keselamatan Lingkungan | | | |
| Keamanan Fasilitas | | | |

5. Alternatif terhadap subkriteria dari "Operasional"

| | FSU - ONSHORE REGASIFICATION | FSRU | ONSHORE TERMINAL |
|-----------------------------|---------------------------------|------|---------------------|
| Mobilitas Fasilitas | | | |
| Kemudahan <i>Offloading</i> | | | |
| Kemudahan Operasional | | | |
| Ketersediaan Suku Cadang | | | |

LAMPIRAN II

OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI LNG

1. Data Kapal Pembanding

| Parameter | Unit | Satuan | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| Jenis Kapal | - | LNG Carrier | | | | |
| Kapasitas | m ³ | 1100 | 2500 | 7500 | 10000 | 15600 |
| LOA | m | 69 | 86.25 | 117.8 | 100 | 151 |
| Breadth | m | 11.83 | 15.1 | 18.6 | 20 | 28 |
| Draft | m | 3.6 | 3.8 | 7.15 | 7.1 | 8 |
| Kecepatan Dinas | Knot | 12.2 | 13 | 14 | 14 | 15 |
| CAPEX | USD | 22,000,000 | 29,583,000 | 56,583,000 | 70,083,000 | 100,000,000 |
| Engine, kW | kW | 1000 | 1676 | 4090 | 5297 | 8000 |
| Harga Sewa | USD/hari | 7800 | 10426 | 19806 | 24496 | 35000 |
| Konsumsi Bahan Bakar (10 knot) | Ton/hari | 3.17 | 5.31 | 12.96 | 16.78 | 25.34 |
| Konsumsi Bahan Bakar (11 knot) | Ton/hari | 3.685125 | 6.172875 | 15.066 | 19.50675 | 29.45775 |
| Konsumsi Bahan Bakar (12 knot) | Ton/hari | 4.22 | 7.08 | 17.28 | 22.37 | 33.79 |
| Konsumsi Bahan Bakar (13 knot) | Ton/hari | 4.604864 | 7.725696 | 18.855936 | 24.410144 | 36.871648 |
| Konsumsi Bahan Bakar (14 knot) | Ton/hari | 5.02 | 8.41 | 20.52 | 26.57 | 40.13 |
| Kapasitas Muat | m ³ | 990 | 2250 | 6750 | 9000 | 14040 |

1. Pioneer Knutsen (1,100 m³)



2. Shinju Maru (2,500 m³)



3. Coral Methane (7,500 m³)



4. Norgas Conception (10,000 m³)



5. Coral Energy (15,600 m³)



2. Matriks Jarak

| Jarak (nm) | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 |
| T0 | 0 | 237 | 360 | 307 | 242 | 212 | 293 | 217 | 309 | 495 | 128 |
| T1 | 237 | 0 | 317 | 389 | 370 | 387 | 489 | 416 | 516 | 699 | 336 |
| T2 | 360 | 317 | 0 | 339 | 367 | 410 | 543 | 499 | 622 | 742 | 441 |
| T3 | 307 | 389 | 339 | 0 | 112 | 199 | 301 | 283 | 414 | 501 | 325 |
| T4 | 242 | 370 | 367 | 112 | 0 | 109 | 218 | 177 | 319 | 418 | 240 |
| T5 | 212 | 387 | 410 | 199 | 109 | 0 | 128 | 87 | 230 | 327 | 178 |
| T6 | 293 | 489 | 543 | 301 | 218 | 128 | 0 | 129 | 278 | 205 | 252 |
| T7 | 217 | 416 | 499 | 283 | 177 | 87 | 129 | 0 | 155 | 326 | 153 |
| T8 | 309 | 516 | 622 | 414 | 319 | 230 | 278 | 155 | 0 | 476 | 223 |
| T9 | 495 | 699 | 742 | 501 | 418 | 327 | 205 | 326 | 476 | 0 | 451 |
| T10 | 128 | 336 | 441 | 325 | 240 | 178 | 252 | 153 | 223 | 451 | 0 |

| | | | |
|----|---------------------|-----|---------------|
| T0 | Makassar | T6 | Waingapu |
| T1 | Senipah | T7 | MPP Flores |
| T2 | Kalsel | T8 | Maumere |
| T3 | Lombok Jeranjang | T9 | Kupang Peaker |
| T4 | Sumbawa | T10 | Selayar |
| T5 | Bima | | |

3. Pembentukan Rute Distribusi LNG beserta Total Kebutuhan LNG per hari pada *Single Route* (1)

| No | Route | Hub T0 | Terminal LNG | | | | | | | | | | Demand | | | | | | | | | | Total Req. Capacity/day |
|----|------------|-----------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|----------------------------|
| | | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | |
| 1 | 0-1-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 129.02 |
| 2 | 0-2-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 322.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 322.56 |
| 3 | 0-3-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.16 |
| 4 | 0-4-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 |
| 5 | 0-5-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 |
| 6 | 0-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 |
| 7 | 0-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.86 |
| 8 | 0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 0.00 | 73.73 |
| 9 | 0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 73.73 |
| 10 | 0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 18.43 |
| 11 | 0-1-2-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.02 | 322.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 451.58 |
| 12 | 0-1-3-0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.02 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 221.18 |
| 13 | 0-1-4-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.02 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 221.14 |
| 14 | 0-1-5-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 221.14 |
| 15 | 0-2-3-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 322.56 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 414.72 |
| 16 | 0-2-4-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 322.56 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 414.68 |
| 17 | 0-2-5-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 322.56 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 414.68 |
| 18 | 0-2-6-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 322.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 340.99 |
| 19 | 0-2-10-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 322.56 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 340.99 |
| 20 | 0-3-4-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184.28 |
| 21 | 0-3-5-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184.28 |
| 22 | 0-3-6-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 110.59 |
| 23 | 0-3-7-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 129.02 |
| 24 | 0-3-10-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 92.16 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 110.59 |
| 25 | 0-4-5-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 184.24 |
| 26 | 0-4-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 110.55 |
| 27 | 0-4-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 36.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 128.98 |
| 28 | 0-4-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 0.00 | 165.85 |
| 29 | 0-4-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 165.85 |
| 30 | 0-4-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 110.55 |
| 31 | 0-5-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 110.55 |
| 32 | 0-5-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 36.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 128.98 |
| 33 | 0-5-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 0.00 | 165.85 |
| 34 | 0-5-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 165.85 |
| 35 | 0-5-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 92.12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 110.55 |
| 36 | 0-6-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 36.86 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 55.30 |
| 37 | 0-6-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 0.00 | 92.16 |
| 38 | 0-6-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 92.16 |
| 39 | 0-6-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 18.43 | 36.86 |
| 40 | 0-7-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.86 | 73.73 | 0.00 | 0.00 | 110.59 |
| 41 | 0-7-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 36.86 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 110.59 |
| 42 | 0-7-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 0.00 | 18.43 | 92.16 |
| 43 | 0-8-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 73.73 | 73.73 | 0.00 | 147.46 |
| 44 | 0-8-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 18.432 | 92.16 |
| 45 | 0-9-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 18.432 | 92.16 |
| 46 | 0-1-2-3-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 543.744 |
| 47 | 0-1-2-4-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 543.704 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 543.704 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 470.016 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 129.024 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 470.016 |

4. Total Biaya Transportasi pada *Single Route* (1)

| No | Route | Number of Destination | Time @ Terminal | Route Distance | Route time @ 12 knot | Total Route Time | Total Capacity | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) |
|----|------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------|-----------------|--------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0-1-0 | 1 | 24 | 474 | 47.40 | 71.40 | 383.85 | 383.85 | 1100 | 122.0 | 2,847,000 | 598,470 | 67,100 | 3,512,570 |
| 2 | 0-2-0 | 1 | 24 | 720 | 72.00 | 96.00 | 1,290.24 | 1,290.24 | 2500 | 91.0 | 3,805,490 | 1,101,719 | 113,750 | 5,020,959 |
| 3 | 0-3-0 | 1 | 24 | 614 | 61.40 | 85.40 | 327.94 | 327.94 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 633,334 | 56,100 | 3,536,434 |
| 4 | 0-4-0 | 1 | 24 | 484 | 48.40 | 72.40 | 277.90 | 277.90 | 1100 | 120.0 | 2,847,000 | 599,834 | 66,000 | 3,512,834 |
| 5 | 0-5-0 | 1 | 24 | 424 | 42.40 | 66.40 | 254.87 | 254.87 | 1100 | 131.0 | 2,847,000 | 581,627 | 72,050 | 3,500,677 |
| 6 | 0-6-0 | 1 | 24 | 586 | 58.60 | 82.60 | 63.44 | 63.44 | 1100 | 106.0 | 2,847,000 | 630,533 | 58,300 | 3,535,833 |
| 7 | 0-7-0 | 1 | 24 | 434 | 43.40 | 67.40 | 103.53 | 103.53 | 1100 | 129.0 | 2,847,000 | 584,760 | 70,950 | 3,502,710 |
| 8 | 0-8-0 | 1 | 24 | 618 | 61.80 | 85.80 | 263.58 | 263.58 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 637,133 | 56,100 | 3,540,233 |
| 9 | 0-9-0 | 1 | 24 | 990 | 99.00 | 123.00 | 377.86 | 377.86 | 1100 | 71.0 | 2,847,000 | 689,440 | 39,050 | 3,575,490 |
| 10 | 0-10-0 | 1 | 24 | 256 | 25.60 | 49.60 | 38.09 | 38.09 | 1100 | 176.0 | 2,847,000 | 506,089 | 96,800 | 3,449,889 |
| 11 | 0-1-2-0 | 2 | 36 | 914 | 91.40 | 127.40 | 2,397.16 | 2,397.16 | 7500 | 68.0 | 7,229,190 | 2,584,243 | 382,500 | 10,195,933 |
| 12 | 0-1-3-0 | 2 | 36 | 933 | 93.30 | 129.30 | 1,191.63 | 1,191.63 | 2500 | 67.0 | 3,805,490 | 1,063,107 | 125,625 | 4,994,222 |
| 13 | 0-1-4-0 | 2 | 36 | 849 | 84.90 | 120.90 | 1,114.01 | 1,114.01 | 2500 | 72.0 | 3,805,490 | 1,048,106 | 135,000 | 4,988,596 |
| 14 | 0-1-5-0 | 2 | 36 | 836 | 83.60 | 119.60 | 1,102.03 | 1,102.03 | 2500 | 73.0 | 3,805,490 | 1,047,861 | 136,875 | 4,990,226 |
| 15 | 0-2-3-0 | 2 | 36 | 1006 | 100.60 | 136.60 | 2,360.45 | 2,360.45 | 7500 | 64.0 | 7,229,190 | 2,656,385 | 360,000 | 10,245,575 |
| 16 | 0-2-4-0 | 2 | 36 | 969 | 96.90 | 132.90 | 2,296.29 | 2,296.29 | 7500 | 65.0 | 7,229,190 | 2,606,333 | 365,625 | 10,201,148 |
| 17 | 0-2-5-0 | 2 | 36 | 982 | 98.20 | 134.20 | 2,318.75 | 2,318.75 | 7500 | 65.0 | 7,229,190 | 2,638,502 | 365,625 | 10,233,317 |
| 18 | 0-2-6-0 | 2 | 36 | 1196 | 119.60 | 155.60 | 2,210.76 | 2,210.76 | 2500 | 56.0 | 3,805,490 | 1,118,297 | 105,000 | 5,028,787 |
| 19 | 0-2-10-0 | 2 | 36 | 929 | 92.90 | 128.90 | 1,831.41 | 1,831.41 | 2500 | 67.0 | 3,805,490 | 1,058,927 | 125,625 | 4,990,042 |
| 20 | 0-3-4-0 | 2 | 36 | 661 | 66.10 | 102.10 | 783.96 | 783.96 | 1100 | 85.0 | 2,847,000 | 585,875 | 70,125 | 3,503,000 |
| 21 | 0-3-5-0 | 2 | 36 | 718 | 71.80 | 107.80 | 827.72 | 827.72 | 1100 | 81.0 | 2,847,000 | 601,298 | 66,825 | 3,515,123 |
| 22 | 0-3-6-0 | 2 | 36 | 901 | 90.10 | 126.10 | 581.07 | 581.07 | 1100 | 69.0 | 2,847,000 | 629,797 | 56,925 | 3,533,722 |
| 23 | 0-3-7-0 | 2 | 36 | 807 | 80.70 | 116.70 | 627.38 | 627.38 | 1100 | 75.0 | 2,847,000 | 618,914 | 61,875 | 3,527,789 |
| 24 | 0-3-10-0 | 2 | 36 | 760 | 76.00 | 112.00 | 516.10 | 516.10 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 609,533 | 64,350 | 3,520,883 |
| 25 | 0-4-5-0 | 2 | 36 | 563 | 56.30 | 92.30 | 708.56 | 708.56 | 1100 | 94.0 | 2,847,000 | 562,128 | 77,550 | 3,486,678 |
| 26 | 0-4-6-0 | 2 | 36 | 753 | 75.30 | 111.30 | 512.68 | 512.68 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 604,449 | 64,350 | 3,515,799 |
| 27 | 0-4-7-0 | 2 | 36 | 636 | 63.60 | 99.60 | 535.28 | 535.28 | 1100 | 87.0 | 2,847,000 | 579,407 | 71,775 | 3,498,182 |
| 28 | 0-4-8-0 | 2 | 36 | 870 | 87.00 | 123.00 | 849.97 | 849.97 | 1100 | 71.0 | 2,847,000 | 627,557 | 58,575 | 3,533,132 |
| 29 | 0-4-9-0 | 2 | 36 | 1155 | 115.50 | 151.50 | 1,046.92 | 1,046.92 | 2500 | 57.0 | 3,805,490 | 1,101,813 | 106,875 | 5,014,178 |
| 30 | 0-4-10-0 | 2 | 36 | 610 | 61.00 | 97.00 | 446.81 | 446.81 | 1100 | 90.0 | 2,847,000 | 577,597 | 74,250 | 3,498,847 |
| 31 | 0-5-6-0 | 2 | 36 | 633 | 63.30 | 99.30 | 457.41 | 457.41 | 1100 | 88.0 | 2,847,000 | 583,609 | 72,600 | 3,503,209 |
| 32 | 0-5-7-0 | 2 | 36 | 516 | 51.60 | 87.60 | 470.79 | 470.79 | 1100 | 100.0 | 2,847,000 | 554,243 | 82,500 | 3,483,743 |
| 33 | 0-5-8-0 | 2 | 36 | 751 | 75.10 | 111.10 | 767.74 | 767.74 | 1100 | 78.0 | 2,847,000 | 602,996 | 64,350 | 3,514,346 |
| 34 | 0-5-9-0 | 2 | 36 | 1034 | 103.40 | 139.40 | 963.30 | 963.30 | 1100 | 62.0 | 2,847,000 | 642,691 | 51,150 | 3,540,841 |
| 35 | 0-5-10-0 | 2 | 36 | 518 | 51.80 | 87.80 | 404.44 | 404.44 | 1100 | 99.0 | 2,847,000 | 550,544 | 81,675 | 3,479,219 |
| 36 | 0-6-7-0 | 2 | 36 | 639 | 63.90 | 99.90 | 230.17 | 230.17 | 1100 | 87.0 | 2,847,000 | 581,838 | 71,775 | 3,500,613 |
| 37 | 0-6-8-0 | 2 | 36 | 880 | 88.00 | 124.00 | 476.16 | 476.16 | 1100 | 70.0 | 2,847,000 | 625,237 | 57,750 | 3,529,987 |
| 38 | 0-6-9-0 | 2 | 36 | 993 | 99.30 | 135.30 | 519.55 | 519.55 | 1100 | 64.0 | 2,847,000 | 638,988 | 52,800 | 3,538,788 |
| 39 | 0-6-10-0 | 2 | 36 | 673 | 67.30 | 103.30 | 158.67 | 158.67 | 1100 | 84.0 | 2,847,000 | 588,369 | 69,300 | 3,504,669 |
| 40 | 0-7-8-0 | 2 | 36 | 681 | 68.10 | 104.10 | 479.69 | 479.69 | 1100 | 84.0 | 2,847,000 | 594,627 | 69,300 | 3,510,927 |
| 41 | 0-7-9-0 | 2 | 36 | 1038 | 103.80 | 139.80 | 644.20 | 644.20 | 1100 | 62.0 | 2,847,000 | 645,000 | 51,150 | 3,543,150 |
| 42 | 0-7-10-0 | 2 | 36 | 498 | 49.80 | 85.80 | 329.47 | 329.47 | 1100 | 102.0 | 2,847,000 | 548,231 | 84,150 | 3,479,381 |
| 43 | 0-8-9-0 | 2 | 36 | 1280 | 128.00 | 164.00 | 1,007.62 | 1,007.62 | 2500 | 53.0 | 3,805,490 | 1,127,831 | 99,375 | 5,032,696 |
| 44 | 0-8-10-0 | 2 | 36 | 660 | 66.00 | 102.00 | 391.68 | 391.68 | 1100 | 85.0 | 2,847,000 | 585,084 | 70,125 | 3,502,209 |
| 45 | 0-9-10-0 | 2 | 36 | 1074 | 107.40 | 143.40 | 550.66 | 550.66 | 1100 | 61.0 | 2,847,000 | 655,046 | 50,325 | 3,552,371 |
| 46 | 0-1-2-3-0 | 3 | 48 | 1200 | 120.00 | 168.00 | 3,806.21 | 3,806.21 | 7500 | 52.0 | 7,229,190 | 2,597,962 | 390,000 | 10,217,152 |
| 47 | 0-1-2-4-0 | 3 | 48 | 1163 | 116.30 | 164.30 | 3,722.11 | 3,722.11 | 7500 | 53.0 | 7,229,190 | 2,573,267 | 397,500 | 10,199,957 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 3 | 48 | 1176 | 117.60 | 165.60 | 3,751.56 | 3,751.56 | 7500 | 52.0 | 7,229,190 | 2,550,450 | 390,000 | 10,169,640 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 3 | 48 | 1390 | 139.00 | 187.00 | 3,662.21 | 3,662.21 | 7500 | 46.0 | 7,229,190 | 2,630,929 | 345,000 | 10,205,119 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 3 | 48 | 1123 | 112.30 | 160.30 | 3,139.32 | 3,139.32 | 7500 | 54.0 | 7,229,190 | 2,539,588 | 405,000 | 10,173,778 |

5. Total Biaya Pembangunan Infrastruktur *Jetty* pada *Single Route* (1)

| No | Route | Jetty Investment (\$/yr) | | | | | | | | | | Jetty Investment (\$/yr) | | | | | | | | | | Total Jetty Investment |
|----|------------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | |
| 1 | 0-1-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | 321,518 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 321,518 |
| 2 | 0-2-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | - | 121,183 | - | - | - | - | - | - | - | - | 121,183 |
| 3 | 0-3-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | - | - | - | - | - | - | - | 153,511 |
| 4 | 0-4-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | - | - | - | - | - | - | 166,985 |
| 5 | 0-5-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | - | - | - | - | - | 189,441 |
| 6 | 0-6-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | 220,880 | - | - | - | - | 220,880 |
| 7 | 0-7-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | 292,740 | - | - | - | 292,740 |
| 8 | 0-8-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | 193,933 | - | - | 193,933 |
| 9 | 0-9-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | - | 175,968 | - | 175,968 |
| 10 | 0-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 193,933 | 193,933 |
| 11 | 0-1-2-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | - | - | - | - | - | - | - | - | 684,488 |
| 12 | 0-1-3-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | 353,476 | - | 170,560 | - | - | - | - | - | - | - | 524,036 |
| 13 | 0-1-4-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | 353,476 | - | - | 184,034 | - | - | - | - | - | - | 537,510 |
| 14 | 0-1-5-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | 353,476 | - | - | - | 206,490 | - | - | - | - | - | 559,966 |
| 15 | 0-2-3-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | - | 154,665 | 233,168 | - | - | - | - | - | - | - | 387,834 |
| 16 | 0-2-4-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | - | 154,665 | - | 251,133 | - | - | - | - | - | - | 405,799 |
| 17 | 0-2-5-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | - | 154,665 | - | - | 287,063 | - | - | - | - | - | 441,729 |
| 18 | 0-2-6-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | - | 121,183 | - | - | - | 237,929 | - | - | - | - | 359,112 |
| 19 | 0-2-10-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | - | 121,183 | - | - | - | - | - | - | - | 210,981 | 332,165 |
| 20 | 0-3-4-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | 166,985 | - | - | - | - | - | - | 320,496 |
| 21 | 0-3-5-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | - | 189,441 | - | - | - | - | - | 342,953 |
| 22 | 0-3-6-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | - | - | 220,880 | - | - | - | - | 374,391 |
| 23 | 0-3-7-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | - | - | - | 292,740 | - | - | - | 446,251 |
| 24 | 0-3-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | 153,511 | - | - | - | - | - | - | 193,933 | 347,444 |
| 25 | 0-4-5-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | 189,441 | - | - | - | - | - | 356,426 |
| 26 | 0-4-6-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | - | 220,880 | - | - | - | - | 387,865 |
| 27 | 0-4-7-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | - | - | 292,740 | - | - | - | 459,725 |
| 28 | 0-4-8-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | - | - | - | 193,933 | - | - | 360,918 |
| 29 | 0-4-9-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | - | - | - | 184,034 | - | - | - | - | 201,999 | - | 386,033 |
| 30 | 0-4-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | 166,985 | - | - | - | - | - | 193,933 | 360,918 |
| 31 | 0-5-6-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | 220,880 | - | - | - | - | 410,321 |
| 32 | 0-5-7-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | - | 292,740 | - | - | - | 482,182 |
| 33 | 0-5-8-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | - | - | 193,933 | - | - | 383,374 |
| 34 | 0-5-9-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | - | - | - | 175,968 | - | 365,409 |
| 35 | 0-5-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | 189,441 | - | - | - | - | 193,933 | 383,374 |
| 36 | 0-6-7-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | 220,880 | 292,740 | - | - | - | 513,620 |
| 37 | 0-6-8-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | 220,880 | - | 193,933 | - | - | 414,813 |
| 38 | 0-6-9-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | 220,880 | - | - | 175,968 | - | 396,848 |
| 39 | 0-6-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | 220,880 | - | - | - | 193,933 | 414,813 |
| 40 | 0-7-8-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | 292,740 | 193,933 | - | - | 486,673 |
| 41 | 0-7-9-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | 292,740 | - | 175,968 | - | 468,708 |
| 42 | 0-7-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | 193,933 | - | 193,933 | 387,865 |
| 43 | 0-8-9-0 | 353,476 | 121,183 | 170,560 | 184,034 | 206,490 | 237,929 | 309,789 | 246,911 | 201,999 | 210,981 | - | - | - | - | - | - | - | 246,911 | 201,999 | - | 448,910 |
| 44 | 0-8-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | 193,933 | - | 193,933 | 387,865 |
| 45 | 0-9-10-0 | 321,518 | 108,397 | 153,511 | 166,985 | 189,441 | 220,880 | 292,740 | 193,933 | 175,968 | 193,933 | - | - | - | - | - | - | - | - | 175,968 | 193,933 | 369,900 |
| 46 | 0-1-2-3-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | - | - | - | - | - | - | - | 917,656 |
| 47 | 0-1-2-4-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | - | 251,133 | - | - | - | - | - | - | 935,621 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | - | - | 287,063 | - | - | - | - | - | 971,551 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | - | - | - | 296,046 | - | - | - | - | 980,534 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 529,823 | 154,665 | 233,168 | 251,133 | 287,063 | 296,046 | 340,958 | 296,046 | 260,116 | 255,624 | 529,823 | 154,665 | - | - | - | - | - | - | - | 255,624 | 940,113 |

6. Total Biaya Investasi Tangki dan Total Komponen Biaya pada *Single Route* (1)

| No | Route | Number of 400 m3 Tank Required | | | | | | | | | | Number of Required | Total Tank Investation | Total Cost |
|----|------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------------------------|------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | | | |
| 1 | 0-1-0 | 1.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,874,510 |
| 2 | 0-2-0 | - | 4.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 161,685 | 5,303,827 |
| 3 | 0-3-0 | - | - | 1.00 | - | - | - | - | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,730,367 |
| 4 | 0-4-0 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,720,240 |
| 5 | 0-5-0 | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,730,540 |
| 6 | 0-6-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,797,135 |
| 7 | 0-7-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 1 | 40,421 | 3,835,871 |
| 8 | 0-8-0 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | 1 | 40,421 | 3,774,587 |
| 9 | 0-9-0 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 1 | 40,421 | 3,791,879 |
| 10 | 0-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 1 | 40,421 | 3,684,243 |
| 11 | 0-1-2-0 | 2.00 | 5.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 282,949 | 11,163,371 |
| 12 | 0-1-3-0 | 2.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | 4 | 161,685 | 5,679,944 |
| 13 | 0-1-4-0 | 2.00 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 4 | 161,685 | 5,687,792 |
| 14 | 0-1-5-0 | 2.00 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 4 | 161,685 | 5,711,877 |
| 15 | 0-2-3-0 | - | 5.00 | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | 7 | 282,949 | 10,916,358 |
| 16 | 0-2-4-0 | - | 5.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 7 | 282,949 | 10,889,896 |
| 17 | 0-2-5-0 | - | 5.00 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 7 | 282,949 | 10,957,995 |
| 18 | 0-2-6-0 | - | 6.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 7 | 282,949 | 5,670,848 |
| 19 | 0-2-10-0 | - | 5.00 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 6 | 242,528 | 5,564,735 |
| 20 | 0-3-4-0 | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | - | - | - | - | 2 | 80,843 | 3,904,339 |
| 21 | 0-3-5-0 | - | - | 2.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 4 | 161,685 | 4,019,760 |
| 22 | 0-3-6-0 | - | - | 2.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 3 | 121,264 | 4,029,378 |
| 23 | 0-3-7-0 | - | - | 2.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 3 | 121,264 | 4,095,304 |
| 24 | 0-3-10-0 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 3 | 121,264 | 3,989,591 |
| 25 | 0-4-5-0 | - | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | - | - | - | 2 | 80,843 | 3,923,947 |
| 26 | 0-4-6-0 | - | - | - | 2.00 | - | 1.00 | - | - | - | - | 3 | 121,264 | 4,024,928 |
| 27 | 0-4-7-0 | - | - | - | 1.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | 2 | 80,843 | 4,038,750 |
| 28 | 0-4-8-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | 3 | 121,264 | 4,015,314 |
| 29 | 0-4-9-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | 2.00 | - | 4 | 161,685 | 5,561,896 |
| 30 | 0-4-10-0 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | - | 1.00 | 2 | 80,843 | 3,940,607 |
| 31 | 0-5-6-0 | - | - | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | - | - | 2 | 80,843 | 3,994,373 |
| 32 | 0-5-7-0 | - | - | - | - | 1.00 | - | 1.00 | - | - | - | 2 | 80,843 | 4,046,767 |
| 33 | 0-5-8-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | 1.00 | - | - | 3 | 121,264 | 4,018,984 |
| 34 | 0-5-9-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | - | 2.00 | - | 4 | 161,685 | 4,067,935 |
| 35 | 0-5-10-0 | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 1.00 | 2 | 80,843 | 3,943,436 |
| 36 | 0-6-7-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | - | 2 | 80,843 | 4,095,076 |
| 37 | 0-6-8-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 1.00 | - | - | 2 | 80,843 | 4,025,642 |
| 38 | 0-6-9-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | 2.00 | - | 3 | 121,264 | 4,056,900 |
| 39 | 0-6-10-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 1.00 | 2 | 80,843 | 4,000,324 |
| 40 | 0-7-8-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | 2 | 80,843 | 4,078,442 |
| 41 | 0-7-9-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 2.00 | - | 3 | 121,264 | 4,133,122 |
| 42 | 0-7-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 1.00 | 2 | 80,843 | 3,948,089 |
| 43 | 0-8-9-0 | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | 2.00 | - | 4 | 161,685 | 5,643,291 |
| 44 | 0-8-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 1.00 | 2 | 80,843 | 3,970,916 |
| 45 | 0-9-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | 1.00 | 3 | 121,264 | 4,043,535 |
| 46 | 0-1-2-3-0 | 3.00 | 6.00 | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | 11 | 444,635 | 11,579,442 |
| 47 | 0-1-2-4-0 | 3.00 | 6.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 11 | 444,635 | 11,580,213 |
| 48 | 0-1-2-5-0 | 3.00 | 6.00 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 11 | 444,635 | 11,585,826 |
| 49 | 0-1-2-6-0 | 3.00 | 7.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 11 | 444,635 | 11,630,287 |
| 50 | 0-1-2-10-0 | 3.00 | 6.00 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 10 | 404,213 | 11,518,104 |

7. Pembentukan Rute Distribusi LNG beserta Total Kebutuhan LNG per hari pada *Multiple Route* (1)

| No | Route | Hub | Terminal LNG | | | | | | | | | | Demand | | | | | | | | | | Total Req. Capacity/day |
|----|---------------|-----|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|---------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|
| | | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | |
| 1 | 0-1-0-2-0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 451.584 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 221.184 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 221.144 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 221.144 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 147.456 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 165.888 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 202.752 |
| 8 | 0-1-0-9-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 202.752 |
| 9 | 0-1-0-10-0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 129.024 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 147.456 |
| 10 | 0-2-0-3-0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 414.72 |
| 11 | 0-2-0-4-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 414.68 |
| 12 | 0-2-0-5-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 414.68 |
| 13 | 0-2-0-6-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 340.992 |
| 14 | 0-2-0-7-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 359.424 |
| 15 | 0-2-0-8-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 396.288 |
| 16 | 0-2-0-9-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 396.288 |
| 17 | 0-2-0-10-0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 322.56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 340.992 |
| 18 | 0-3-0-4-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 184.28 |
| 19 | 0-3-0-5-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 184.28 |
| 20 | 0-3-0-6-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.592 |
| 21 | 0-3-0-7-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 129.024 |
| 22 | 0-3-0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 165.888 |
| 23 | 0-3-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 165.888 |
| 24 | 0-3-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 110.592 |
| 25 | 0-4-0-5-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 184.24 |
| 26 | 0-4-0-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.552 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 128.984 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 165.848 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 165.848 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 110.552 |
| 31 | 0-5-0-6-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110.552 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 0 | 128.984 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 165.848 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 165.848 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 110.552 |
| 36 | 0-6-0-7-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55.296 |
| 37 | 0-6-0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 0 | 92.16 |
| 38 | 0-6-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 92.16 |
| 39 | 0-6-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 36.864 |
| 40 | 0-7-0-8-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 73.728 | 0 | 0 | 0 | 110.592 |
| 41 | 0-7-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 110.592 |
| 42 | 0-7-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 18.432 | 55.296 |
| 43 | 0-8-0-9-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 73.728 | 0 | 0 | 147.456 |
| 44 | 0-8-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 18.432 | 92.16 |
| 45 | 0-9-0-10-0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 18.432 | 0 | 92.16 |
| 46 | 0-1-2-0-3-4-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 635.864 |
| 47 | 0-1-2-0-3-5-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 0 | 92.12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 635.864 |
| 48 | 0-1-2-0-3-6-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 0 | 0 | 18.432 | 0 | 0 | 0 | 0 | 562.176 |
| 49 | 0-1-2-0-3-7-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 36.864 | 0 | 0 | 0 | 580.608 |
| 50 | 0-1-2-0-3-8-0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 129.024 | 322.56 | 92.16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73.728 | 0 | 0 | 617.472 |

8. Total Biaya Transportasi pada *Multiple Route* (1)

| No | Route | Total Req. Capacity/day | Number of Destination s | Time @ Terminal | Route Distance | Route time @ 12 knot | Total Route Time | Total Capacity Route 1 | Total Capacity Route 2 | Max Cap Route | Required LNG Vessel | Number of Round Trips/yr | Biaya Sewa (\$/yr) | Biaya Bahan Bakar (\$/yr) | Terminal (\$/yr) | Total Transportation Cost (\$/yr) |
|----|---------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|----------------|----------------------|------------------|------------------------|------------------------|---------------|---------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | 0-1-0-2-0 | 451.584 | 2 | 48 | 1194 | 119.40 | 167.4 | 899.9 | 2249.9 | 2249.9 | 2500 | 52.0 | 3805490 | 1,195,116 | 130,000 | 5,130,606.39 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 221.184 | 2 | 48 | 1088 | 108.80 | 156.8 | 843.0 | 602.1 | 843.0 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 614,758 | 60,500 | 3,522,258.10 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 221.144 | 2 | 48 | 958 | 95.80 | 143.8 | 773.1 | 552.0 | 773.1 | 1100 | 60.0 | 2847000 | 598,013 | 66,000 | 3,511,012.58 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 221.144 | 2 | 48 | 898 | 89.80 | 137.8 | 740.8 | 528.9 | 740.8 | 1100 | 63.0 | 2847000 | 592,714 | 69,300 | 3,509,014.32 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 147.456 | 2 | 48 | 1060 | 106.00 | 154.0 | 827.9 | 118.3 | 827.9 | 1100 | 56.0 | 2847000 | 611,335 | 61,600 | 3,519,934.50 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 165.888 | 2 | 48 | 908 | 90.80 | 138.8 | 746.2 | 213.2 | 746.2 | 1100 | 63.0 | 2847000 | 598,581 | 69,300 | 3,514,880.80 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 202.752 | 2 | 48 | 1092 | 109.20 | 157.2 | 845.1 | 482.9 | 845.1 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 616,807 | 60,500 | 3,524,306.71 |
| 8 | 0-1-0-9-0 | 202.752 | 2 | 48 | 1464 | 146.40 | 194.4 | 1045.1 | 597.2 | 1045.1 | 2500 | 45.0 | 3805490 | 1,268,108 | 112,500 | 5,186,097.65 |
| 9 | 0-1-0-10-0 | 147.456 | 2 | 48 | 730 | 73.00 | 121.0 | 650.5 | 92.9 | 650.5 | 1100 | 72.0 | 2847000 | 564,751 | 79,200 | 3,490,951.35 |
| 10 | 0-2-0-3-0 | 414.72 | 2 | 48 | 1334 | 133.40 | 181.4 | 2438.0 | 696.6 | 2438.0 | 7500 | 48.0 | 7229190 | 2,642,985 | 360,000 | 10,232,174.64 |
| 11 | 0-2-0-4-0 | 414.68 | 2 | 48 | 1204 | 120.40 | 168.4 | 2263.3 | 646.4 | 2263.3 | 7500 | 52.0 | 7229190 | 2,605,880 | 390,000 | 10,225,070.16 |
| 12 | 0-2-0-5-0 | 414.68 | 2 | 48 | 1144 | 114.40 | 162.4 | 2182.7 | 623.3 | 2182.7 | 2500 | 53.0 | 3805490 | 1,167,090 | 132,500 | 5,105,080.21 |
| 13 | 0-2-0-6-0 | 340.992 | 2 | 48 | 1306 | 130.60 | 178.6 | 2400.4 | 137.2 | 2400.4 | 7500 | 49.0 | 7229190 | 2,645,815 | 367,500 | 10,242,504.78 |
| 14 | 0-2-0-7-0 | 359.424 | 2 | 48 | 1154 | 115.40 | 163.4 | 2196.1 | 251.0 | 2196.1 | 2500 | 53.0 | 3805490 | 1,177,292 | 132,500 | 5,115,282.05 |
| 15 | 0-2-0-8-0 | 396.288 | 2 | 48 | 1338 | 133.80 | 181.8 | 2443.4 | 558.5 | 2443.4 | 7500 | 48.0 | 7229190 | 2,650,294 | 360,000 | 10,239,484.08 |
| 16 | 0-2-0-9-0 | 396.288 | 2 | 48 | 1710 | 171.00 | 219.0 | 2943.4 | 672.8 | 2943.4 | 7500 | 40.0 | 7229190 | 2,775,060 | 300,000 | 10,304,250.00 |
| 17 | 0-2-0-10-0 | 340.992 | 2 | 48 | 976 | 97.60 | 145.6 | 1956.9 | 111.8 | 1956.9 | 2500 | 60.0 | 3805490 | 1,127,207 | 150,000 | 5,082,696.80 |
| 18 | 0-3-0-4-0 | 184.28 | 2 | 48 | 1098 | 109.80 | 157.8 | 606.0 | 605.7 | 606.0 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 619,880 | 60,500 | 3,527,379.63 |
| 19 | 0-3-0-5-0 | 184.28 | 2 | 48 | 1038 | 103.80 | 151.8 | 582.9 | 582.7 | 582.9 | 1100 | 57.0 | 2847000 | 610,574 | 62,700 | 3,520,274.10 |
| 20 | 0-3-0-6-0 | 110.592 | 2 | 48 | 1200 | 120.00 | 168.0 | 645.1 | 129.0 | 645.1 | 1100 | 52.0 | 2847000 | 635,458 | 57,200 | 3,539,658.20 |
| 21 | 0-3-0-7-0 | 129.024 | 2 | 48 | 1048 | 104.80 | 152.8 | 586.8 | 234.7 | 586.8 | 1100 | 57.0 | 2847000 | 615,882 | 62,700 | 3,525,581.87 |
| 22 | 0-3-0-8-0 | 165.888 | 2 | 48 | 1232 | 123.20 | 171.2 | 657.4 | 525.9 | 657.4 | 1100 | 51.0 | 2847000 | 638,435 | 56,100 | 3,541,534.83 |
| 23 | 0-3-0-9-0 | 165.888 | 2 | 48 | 1604 | 160.40 | 208.4 | 800.3 | 640.2 | 800.3 | 1100 | 42.0 | 2847000 | 671,259 | 46,200 | 3,564,458.60 |
| 24 | 0-3-0-10-0 | 110.592 | 2 | 48 | 870 | 87.00 | 135.0 | 518.4 | 103.7 | 518.4 | 1100 | 64.0 | 2847000 | 585,436 | 70,400 | 3,502,835.60 |
| 25 | 0-4-0-5-0 | 184.24 | 2 | 48 | 908 | 90.80 | 138.8 | 532.8 | 532.8 | 532.8 | 1100 | 63.0 | 2847000 | 598,581 | 69,300 | 3,514,880.80 |
| 26 | 0-4-0-6-0 | 110.552 | 2 | 48 | 1070 | 107.00 | 155.0 | 594.9 | 119.0 | 594.9 | 1100 | 56.0 | 2847000 | 616,549 | 61,600 | 3,525,149.15 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | 128.984 | 2 | 48 | 918 | 91.80 | 139.8 | 536.6 | 214.7 | 536.6 | 1100 | 62.0 | 2847000 | 594,853 | 68,200 | 3,510,052.88 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | 165.848 | 2 | 48 | 1102 | 110.20 | 158.2 | 607.2 | 486.0 | 607.2 | 1100 | 55.0 | 2847000 | 621,928 | 60,500 | 3,529,428.24 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | 165.848 | 2 | 48 | 1474 | 147.40 | 195.4 | 750.0 | 600.3 | 750.0 | 1100 | 44.0 | 2847000 | 649,959 | 48,400 | 3,545,359.37 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | 110.552 | 2 | 48 | 740 | 74.00 | 122.0 | 468.3 | 93.7 | 468.3 | 1100 | 71.0 | 2847000 | 563,519 | 78,100 | 3,488,619.01 |
| 31 | 0-5-0-6-0 | 110.552 | 2 | 48 | 1010 | 101.00 | 149.0 | 571.9 | 114.4 | 571.9 | 1100 | 58.0 | 2847000 | 606,163 | 63,800 | 3,516,963.44 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | 128.984 | 2 | 48 | 858 | 85.80 | 133.8 | 513.6 | 205.5 | 513.6 | 1100 | 65.0 | 2847000 | 587,320 | 71,500 | 3,505,819.77 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | 165.848 | 2 | 48 | 1042 | 104.20 | 152.2 | 584.2 | 467.6 | 584.2 | 1100 | 57.0 | 2847000 | 612,697 | 62,700 | 3,522,397.20 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | 165.848 | 2 | 48 | 1414 | 141.40 | 189.4 | 727.0 | 581.8 | 727.0 | 1100 | 46.0 | 2847000 | 653,802 | 50,600 | 3,551,402.20 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | 110.552 | 2 | 48 | 680 | 68.00 | 116.0 | 445.2 | 89.1 | 445.2 | 1100 | 75.0 | 2847000 | 553,363 | 82,500 | 3,482,863.13 |
| 36 | 0-6-0-7-0 | 55.296 | 2 | 48 | 1020 | 102.00 | 150.0 | 115.2 | 230.4 | 230.4 | 1100 | 58.0 | 2847000 | 611,564 | 63,800 | 3,522,364.33 |
| 37 | 0-6-0-8-0 | 92.16 | 2 | 48 | 1204 | 120.40 | 168.4 | 129.3 | 517.3 | 517.3 | 1100 | 52.0 | 2847000 | 637,395 | 57,200 | 3,541,595.07 |
| 38 | 0-6-0-9-0 | 92.16 | 2 | 48 | 1576 | 157.60 | 205.6 | 157.9 | 631.6 | 631.6 | 1100 | 42.0 | 2847000 | 660,308 | 46,200 | 3,553,507.83 |
| 39 | 0-6-0-10-0 | 36.864 | 2 | 48 | 842 | 84.20 | 132.2 | 101.5 | 101.5 | 101.5 | 1100 | 66.0 | 2847000 | 586,522 | 72,600 | 3,506,122.12 |
| 40 | 0-7-0-8-0 | 110.592 | 2 | 48 | 1052 | 105.20 | 153.2 | 235.3 | 470.6 | 470.6 | 1100 | 57.0 | 2847000 | 618,005 | 62,700 | 3,527,704.97 |
| 41 | 0-7-0-9-0 | 110.592 | 2 | 48 | 1424 | 142.40 | 190.4 | 292.5 | 584.9 | 584.9 | 1100 | 46.0 | 2847000 | 658,086 | 50,600 | 3,555,685.66 |
| 42 | 0-7-0-10-0 | 55.296 | 2 | 48 | 690 | 69.00 | 117.0 | 179.7 | 89.9 | 179.7 | 1100 | 74.0 | 2847000 | 552,876 | 81,400 | 3,481,275.74 |
| 43 | 0-8-0-9-0 | 147.456 | 2 | 48 | 1608 | 160.80 | 208.8 | 641.4 | 641.4 | 641.4 | 1100 | 41.0 | 2847000 | 656,803 | 45,100 | 3,548,903.40 |
| 44 | 0-8-0-10-0 | 92.16 | 2 | 48 | 874 | 87.40 | 135.4 | 415.9 | 104.0 | 415.9 | 1100 | 64.0 | 2847000 | 587,819 | 70,400 | 3,505,219.44 |
| 45 | 0-9-0-10-0 | 92.16 | 2 | 48 | 1246 | 124.60 | 172.6 | 530.2 | 132.6 | 530.2 | 1100 | 50.0 | 2847000 | 632,435 | 55,000 | 3,534,434.81 |
| 46 | 0-1-2-0-3-4-0 | 635.864 | 4 | 72 | 1575 | 157.50 | 229.5 | 4318.3 | 1762.2 | 4318.3 | 7500 | 38.0 | 7229190 | 2,522,267 | 427,500 | 10,178,957.10 |
| 47 | 0-1-2-0-3-5-0 | 635.864 | 4 | 72 | 1632 | 163.20 | 235.2 | 4425.5 | 1805.9 | 4425.5 | 7500 | 37.0 | 7229190 | 2,536,181 | 416,250 | 10,181,621.28 |
| 48 | 0-1-2-0-3-6-0 | 562.176 | 4 | 72 | 1815 | 181.50 | 253.5 | 4769.9 | 1168.1 | 4769.9 | 7500 | 34.0 | 7229190 | 2,567,417 | 382,500 | 10,179,106.50 |
| 49 | 0-1-2-0-3-7-0 | 580.608 | 4 | 72 | 1721 | 172.10 | 244.1 | 4593.0 | 1312.3 | 4593.0 | 7500 | 35.0 | 7229190 | 2,517,678 | 393,750 | 10,140,618.45 |
| 50 | 0-1-2-0-3-8-0 | 617.472 | 4 | 72 | 1944 | 194.40 | 266.4 | 5012.6 | 1841.4 | 5012.6 | 7500 | 32.0 | 7229190 | 2,573,545 | 360,000 | 10,162,734.96 |

9. Total Biaya Pembangunan Infrastruktur *Jetty* pada *Multiple Route* (1)

| No | Route | Jetty Investation (\$/yr) | | | | | | | | | | Jetty Investation (\$/yr) | | | | | | | | | | Total Jetty Investation (\$/yr) |
|----|------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------------------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | |
| 1 | 0-1-0-2-0 | 353,476.10 | 121,183.15 | 170,560.04 | 184,033.82 | 206,490.12 | 237,928.93 | 309,789.07 | 246,911.44 | 201,998.86 | 210,981.37 | 353,476.10 | 121,183.15 | - | - | - | - | - | - | - | - | 474,659.25 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | 153,511.23 | - | - | - | - | - | - | - | 475,029.22 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | 166,985.00 | - | - | - | - | - | - | 488,502.99 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | - | 189,441.30 | - | - | - | - | - | 510,959.29 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | - | - | 220,880.11 | - | - | - | - | 542,398.10 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | - | - | - | 292,740.25 | - | - | - | 614,258.24 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | - | - | - | 193,932.56 | - | - | - | 515,450.55 |
| 8 | 0-1-0-9-0 | 353,476.10 | 121,183.15 | 170,560.04 | 184,033.82 | 206,490.12 | 237,928.93 | 309,789.07 | 246,911.44 | 201,998.86 | 210,981.37 | 353,476.10 | - | - | - | - | - | - | 201,998.86 | - | - | 555,474.96 |
| 9 | 0-1-0-10-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | 321,517.99 | - | - | - | - | - | - | - | 193,932.56 | 515,450.55 | |
| 10 | 0-2-0-3-0 | 529,822.57 | 154,665.48 | 233,168.19 | 251,133.23 | 287,063.30 | 296,045.82 | 340,958.40 | 296,045.82 | 260,115.75 | 255,624.49 | - | 154,665.48 | 233,168.19 | - | - | - | - | - | - | - | 387,833.67 |
| 11 | 0-2-0-4-0 | 529,822.57 | 154,665.48 | 233,168.19 | 251,133.23 | 287,063.30 | 296,045.82 | 340,958.40 | 296,045.82 | 260,115.75 | 255,624.49 | - | 154,665.48 | - | 251,133.23 | - | - | - | - | - | - | 405,798.71 |
| 12 | 0-2-0-5-0 | 353,476.10 | 121,183.15 | 170,560.04 | 184,033.82 | 206,490.12 | 237,928.93 | 309,789.07 | 246,911.44 | 201,998.86 | 210,981.37 | - | 121,183.15 | - | - | 206,490.12 | - | - | - | - | - | 327,673.26 |
| 13 | 0-2-0-6-0 | 529,822.57 | 154,665.48 | 233,168.19 | 251,133.23 | 287,063.30 | 296,045.82 | 340,958.40 | 296,045.82 | 260,115.75 | 255,624.49 | - | 154,665.48 | - | - | 296,045.82 | - | - | - | - | - | 450,711.30 |
| 14 | 0-2-0-7-0 | 353,476.10 | 121,183.15 | 170,560.04 | 184,033.82 | 206,490.12 | 237,928.93 | 309,789.07 | 246,911.44 | 201,998.86 | 210,981.37 | - | 121,183.15 | - | - | - | 309,789.07 | - | - | - | - | 430,972.21 |
| 15 | 0-2-0-8-0 | 529,822.57 | 154,665.48 | 233,168.19 | 251,133.23 | 287,063.30 | 296,045.82 | 340,958.40 | 296,045.82 | 260,115.75 | 255,624.49 | - | 154,665.48 | - | - | - | - | 296,045.82 | - | - | - | 450,711.30 |
| 16 | 0-2-0-9-0 | 529,822.57 | 154,665.48 | 233,168.19 | 251,133.23 | 287,063.30 | 296,045.82 | 340,958.40 | 296,045.82 | 260,115.75 | 255,624.49 | - | 154,665.48 | - | - | - | - | - | 260,115.75 | - | - | 414,781.23 |
| 17 | 0-2-0-10-0 | 353,476.10 | 121,183.15 | 170,560.04 | 184,033.82 | 206,490.12 | 237,928.93 | 309,789.07 | 246,911.44 | 201,998.86 | 210,981.37 | - | 121,183.15 | - | - | - | - | - | - | 210,981.37 | 332,164.52 | |
| 18 | 0-3-0-4-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | 166,985.00 | - | - | - | - | - | - | 320,496.23 |
| 19 | 0-3-0-5-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | 189,441.30 | - | - | - | - | - | 342,952.52 |
| 20 | 0-3-0-6-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | 220,880.11 | - | - | - | - | - | 374,391.33 |
| 21 | 0-3-0-7-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | - | 292,740.25 | - | - | - | - | 446,251.48 |
| 22 | 0-3-0-8-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | - | - | - | 193,932.56 | - | - | 347,443.78 |
| 23 | 0-3-0-9-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | - | - | - | 175,967.52 | - | - | 329,478.75 |
| 24 | 0-3-0-10-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | 153,511.23 | - | - | - | - | - | 193,932.56 | - | 347,443.78 |
| 25 | 0-4-0-5-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | 189,441.30 | - | - | - | - | - | 356,426.30 |
| 26 | 0-4-0-6-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | - | 220,880.11 | - | - | - | - | 387,865.11 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | - | 292,740.25 | - | - | - | - | 459,725.25 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | - | - | 193,932.56 | - | - | - | 360,917.56 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | - | - | - | 175,967.52 | - | - | 342,952.52 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | 166,985.00 | - | - | - | - | 193,932.56 | 360,917.56 | |
| 31 | 0-5-0-6-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 189,441.30 | 220,880.11 | - | - | - | - | 410,321.41 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 189,441.30 | - | 292,740.25 | - | - | - | 482,181.55 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 189,441.30 | - | - | 193,932.56 | - | - | 383,373.85 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 189,441.30 | - | - | 175,967.52 | - | - | 365,408.82 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 189,441.30 | - | - | - | - | 193,932.56 | 383,373.85 |
| 36 | 0-6-0-7-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 220,880.11 | 292,740.25 | - | - | - | - | 513,620.36 |
| 37 | 0-6-0-8-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 220,880.11 | - | 193,932.56 | - | - | - | 414,812.66 |
| 38 | 0-6-0-9-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | - | 220,880.11 | - | - | 175,967.52 | - | 396,847.63 |
| 39 | 0-6-0-10-0 | 321,517.99 | 108,396.53 | 153,511.23 | 166,985.00 | 189,441.30 | 220,880.11 | 292,740.25 | 193,932.56 | 175,967.52 | 193,932.56 | - | - | - | - | 220,880 | | | | | | |

10. Total Biaya Investasi Tangki dan Total Komponen Biaya pada *Multiple Route* (1)

| No | Route | Number of 400 m3 Tank Required | | | | | | | | | | Number of Required Tanks | Total Tank Investation (\$/yr) | Total Cost |
|----|---------------|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------------|--------------------------------|---------------|
| | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | | | |
| 1 | 0-1-0-2-0 | 3.00 | 6.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 9 | 363,791.96 | 5,969,057.60 |
| 2 | 0-1-0-3-0 | 3.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | 5 | 202,106.65 | 4,199,393.96 |
| 3 | 0-1-0-4-0 | 2.00 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,161,200.89 |
| 4 | 0-1-0-5-0 | 2.00 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,181,658.92 |
| 5 | 0-1-0-6-0 | 3.00 | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,224,017.92 |
| 6 | 0-1-0-7-0 | 2.00 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,250,403.03 |
| 7 | 0-1-0-8-0 | 3.00 | - | - | - | - | - | - | 2.00 | - | - | 5 | 202,106.65 | 4,241,863.91 |
| 8 | 0-1-0-9-0 | 3.00 | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | - | 5 | 202,106.65 | 5,943,679.26 |
| 9 | 0-1-0-10-0 | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 4,127,665.88 |
| 10 | 0-2-0-3-0 | - | 7.00 | 2.00 | - | - | - | - | - | - | - | 9 | 363,791.96 | 10,983,800.28 |
| 11 | 0-2-0-4-0 | - | 6.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 8 | 323,370.63 | 10,954,239.50 |
| 12 | 0-2-0-5-0 | - | 6.00 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 8 | 323,370.63 | 5,756,124.11 |
| 13 | 0-2-0-6-0 | - | 7.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 8 | 323,370.63 | 11,016,586.71 |
| 14 | 0-2-0-7-0 | - | 6.00 | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 7 | 282,949.31 | 5,829,203.57 |
| 15 | 0-2-0-8-0 | - | 7.00 | - | - | - | - | - | 2.00 | - | - | 9 | 363,791.96 | 11,053,987.34 |
| 16 | 0-2-0-9-0 | - | 8.00 | - | - | - | - | - | - | 2.00 | - | 10 | 404,213.29 | 11,123,244.52 |
| 17 | 0-2-0-10-0 | - | 5.00 | - | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 6 | 242,527.98 | 5,657,389.30 |
| 18 | 0-3-0-4-0 | - | - | 2.00 | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,009,561.18 |
| 19 | 0-3-0-5-0 | - | - | 2.00 | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,024,911.94 |
| 20 | 0-3-0-6-0 | - | - | 2.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,035,313.52 |
| 21 | 0-3-0-7-0 | - | - | 2.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,093,097.33 |
| 22 | 0-3-0-8-0 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,050,663.93 |
| 23 | 0-3-0-9-0 | - | - | 3.00 | - | - | - | - | - | 2.00 | - | 5 | 202,106.65 | 4,096,043.99 |
| 24 | 0-3-0-10-0 | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 3,971,543.37 |
| 25 | 0-4-0-5-0 | - | - | - | 2.00 | 2.00 | - | - | - | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,032,992.41 |
| 26 | 0-4-0-6-0 | - | - | - | 2.00 | - | 1.00 | - | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,034,278.25 |
| 27 | 0-4-0-7-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,091,042.12 |
| 28 | 0-4-0-8-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | 2.00 | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,052,031.12 |
| 29 | 0-4-0-9-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | 2.00 | - | 4 | 161,685.32 | 4,049,997.21 |
| 30 | 0-4-0-10-0 | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | - | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 3,970,800.56 |
| 31 | 0-5-0-6-0 | - | - | - | - | 2.00 | 1.00 | - | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,048,548.83 |
| 32 | 0-5-0-7-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | 1.00 | - | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,109,265.30 |
| 33 | 0-5-0-8-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | 2.00 | - | - | 4 | 161,685.32 | 4,067,456.37 |
| 34 | 0-5-0-9-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | - | 2.00 | - | 4 | 161,685.32 | 4,078,496.33 |
| 35 | 0-5-0-10-0 | - | - | - | - | 2.00 | - | - | - | - | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 3,987,500.97 |
| 36 | 0-6-0-7-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | 1.00 | - | - | - | 2 | 80,842.66 | 4,116,827.34 |
| 37 | 0-6-0-8-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 2.00 | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,077,671.72 |
| 38 | 0-6-0-9-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | 2.00 | - | 3 | 121,263.99 | 4,071,619.45 |
| 39 | 0-6-0-10-0 | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 1.00 | 2 | 80,842.66 | 4,001,777.44 |
| 40 | 0-7-0-8-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | 2.00 | - | - | 3 | 121,263.99 | 4,135,641.77 |
| 41 | 0-7-0-9-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 2.00 | - | 3 | 121,263.99 | 4,145,657.42 |
| 42 | 0-7-0-10-0 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | - | 1.00 | 2 | 80,842.66 | 4,048,791.20 |
| 43 | 0-8-0-9-0 | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | 2.00 | - | 4 | 161,685.32 | 4,080,488.79 |
| 44 | 0-8-0-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | - | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 4,014,348.54 |
| 45 | 0-9-0-10-0 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.00 | 1.00 | 3 | 121,263.99 | 4,025,598.88 |
| 46 | 0-1-2-0-3-4-0 | 4.00 | 8.00 | 3.00 | 3.00 | - | - | - | - | - | - | 18 | 727,583.93 | 12,075,330.50 |
| 47 | 0-1-2-0-3-5-0 | 4.00 | 8.00 | 3.00 | - | 3.00 | - | - | - | - | - | 18 | 727,583.93 | 12,113,924.75 |
| 48 | 0-1-2-0-3-6-0 | 4.00 | 9.00 | 3.00 | - | - | 1.00 | - | - | - | - | 17 | 687,162.60 | 12,079,971.16 |
| 49 | 0-1-2-0-3-7-0 | 4.00 | 9.00 | 3.00 | - | - | - | 1.00 | - | - | - | 17 | 687,162.60 | 12,086,395.70 |
| 50 | 0-1-2-0-3-8-0 | 4.00 | 9.00 | 3.00 | - | - | - | - | 3.00 | - | - | 19 | 768,005.26 | 12,144,442.28 |

BIOGRAFI PENULIS



Putri Dyah Setyorini, merupakan putri pertama dari 3 bersaudara buah hati dari pasangan Diana Dewi dan Luwis Syaifudin. Penulis lahir dan besar di Kota Surabaya pada tanggal 04 Agustus 1993. Penulis telah menjalani pendidikan formal di TK. RUWABI, SDN. Jemursari I, SMPN 13 Surabaya, dan SMAN 6 Surabaya. Pada tahun 2015, penulis lulus sebagai Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan fokus bidang penelitian *Marine Reliability, Availability, and Maintenance (RAMS)*. Kemudian pada tahun 2016, penulis melanjutkan studi master pada departemen serta bidang penelitian yang sama. Menjadi dosen merupakan cita-cita dari penulis serta keinginan dari orang tua penulis. Hingga saat ini, penulis aktif dalam berbagai kegiatan sosial seperti Gerakan Melukis Harapan maupun menjadi pengajar anak jalanan pada komunitas *Save Street Child Surabaya*.

Putri Dyah Setyorini

putridyachs@gmail.com/ putri16@mhs.ne.its.ac.id